

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Зварювальний факультет
Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»
УДК 621.791

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

I.B. Смирнов

« 4 » 12 2019 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 131 Прикладна механіка
на тему:

«Створення порошкових дротів з покращеними властивостями для
дугового наплавлення»

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи ЗП-81мп
Шкіндер Олексій Миколайович

Керівник:
Доцент, к.т.н.
Степанов Д.В.

Консультант з охорони праці:
Зав. каф., д.т.н., проф.
Левченко О.Г.

Рецензент:
доцент, к.т.н. Минаков С.М.

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка)

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. В наш час швидко розвивається промисловість. Тож вироблення порошкових дротів що в свою чергу вимагає великої кількості обладнання різного типу. Використання системи в поточному виробництві дозволяє забезпечити виготовлення високоякісного порошкового дроту з гарантованими властивостями, що найбільш точно відповідають вимогам технічної документації.

Завдяки новому, більш ефективному технологічному процесу, теоретично можна збільшити продуктивність, швидкість та економічність виготовлення.

Мета і задачі дослідження. Метою моєї даної дисертації є удосконалення застарілих підходів до базових технологічних процесів зварювання та наплавлення, які всупереч не ефективних і не економічних результатів використовуються і ще до нашого часу. Покращити технологію для досягнення більшої продуктивності, економічності і перспективності за допомогою розробки створення порошкових дротів з покращеними властивостями. З чим буде показано підвищення якісних показників, а також є для нас важливою задачею забезпечення та дотримання нового процесу.

Для досягнення визначеної мети в роботі виконані наступні задачі:

- проведення конструктивно-технологічного аналізу виробу;
- розробка нового більш раціонального технологічного процесу;
- розробка порошкових дротів для зварювання та наплавлення
- розробка методики чисельного детермінованого аналізу та розрахунків металургійних реакцій

Об'єкт дослідження – порошкові дроти для дугового наплавлення та зварювання.

Предмет дослідження – технологічний процес створення порошкових дротів.

Методи дослідження.

Розробка та створення порошкових дротів з покращеними властивостями для дугового наплавлення та зварювання. На основі конструктивно-технологічного та аналізу базового технологічного процесу конструкції.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Розробка програмного забезпечення для контролю технології виготовлення порошкового дроту та забезпечення стабільності складу його полягала у створенні системи розрахунку кінцевого складу порошкового дроту, базуючись на вимогах технічної документації стосовно складу порошкового дроту, а також вимогах, що висувуються до сировинних матеріалів

Практичне значення одержаних результатів. Застосування нового технологічного процесу на виробництві, дасть змогу значно збільшити продуктивність виготовлення, зробити процес виготовлення швидшим, таким чином збільшити виробничу програму, одночасно даючи економію витрат на виготовлення виробу.

Магістерська дисертація представлена: 3 пояснювальної записки яка складається з реферату, 6-ти розділів, висновку, переліку посилань, та додатків. Робота складається з: 109 арк. форматом А4 та графічної частини- 3 аркушів на А1

Ключові слова: порошкових дротів, зварювання та наплавлення.

ABSTRACT

Actuality of theme. Nowadays the industry is developing rapidly. Therefore, powder coils are manufactured, which use a wide variety of types of equipment in their work. The systems used in the current production make it possible to manufacture high quality powder wire with guaranteed power properties, which requires exacting of technical documentation.

Thanks to a new, higher technological process, it is theoretically possible to increase the productivity, speed and economy of production.

The purpose and objectives of the study. The methodology of my dissertation is to improve outdated contracting to basic welding and surfacing processes that are not effective or economical. We use it even before our time. Improving technology for greater productivity, economical and promising for the development of powder coated wires with improved properties. We will be shown to exist, but it is also an important task for us and adherence to the new process.

To achieve the possible goal in your following tasks:

- carrying out of structural-technological product;
- sending out a new big rational technological process;
- scattering of powder wires for welding and overlay
- methods of sending numerical deterministic consideration and use of metallurgical reactions

Object of study - powder wires for arc welding and welding.

The subject of the research is the technological process of making powder wires.

Research methods.

Disassembly and creation of powder wires with improved properties for arc surfacing and welding. On the basis of structural-technological and existing basic technological process of construction.

Scientific news about the results of work in the following:

The software development program for various powder wire manufacturing technologies and maintaining its substantial productivity was based on the creation of reliable end-to-end wire product systems, based on the necessary technical documentation pertaining to the line wire, and also requires that you use raw materials

Practical values of the results obtained. By concentrating the new technological process on production, it is possible to achieve a greater volume of production of products, to make the process of rapid manufacturing, thus, it is possible to increase the production program, while simultaneously using the economy necessary for the manufacture of homogeneous products.

Master's thesis is presented: Master's thesis is presented: With explanatory note saved from abstract, 6 sections containing, view, add and add. The work consists of: 109 sheets. A4 format and graphic usage - 3 sheets per A1

Keywords: powder wires, welding and surfacing.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	6
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ	9
1.1 Зносостійкість і зв'язок між фазовим та структурним станом поверхонь	9
1.2 Відновлення та підвищення зносостійкості поверхонь	17
2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА	22
2.1 Дослідження шляхів керування переносом електродного металу при зварюванні порошковим дротом	22
2.2 Чисельні дослідження металургійних реакцій, моделювання їх розвитку в умовах електродугового зварювання порошковим дротом	32
2.3 Розробка порошкових дротів для зварювання та наплавлення	43
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОЗРОБЛЕНИХ БАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ	62
4 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ДРОТУ	76
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	79
6 СТАРТАП-ПРОЕКТ	90
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	100
ДОДАТКИ	110

Перелік умовних скорочень

σ_b - Межа короткочасної міцності

σ_T - Межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації)

δ_5 - Відносне подовження при розриві

ψ - Відносне звуження

α — Коефіцієнт лінійного розширення

A - струм

B - напруга

HRC- твердість

ВСТУП

Підвищення якості та службових характеристик прокату досягнуто за рахунок використання сучасних методів рафінування, базового легування та мікролегування, завдяки чому досягається зменшення розмірів зерен, очищення їх границь від шкідливих включень, а також термічної обробки (термозміцненню) сталюого прокату. Подальший розвиток теорії та практики склад зварювальних матеріалів при механізованому та автоматизованому дуговому зварюванні та плавленні є актуальним і важливим напрямком досліджень.

Головним напрямком робіт по темі є розвиток уявлень та закономірностей впливу комплексного мікролегування з використанням метало-мінеральних комплексів, що вводяться у зварювальну ванну разом з шлакоутворюючими компонентами через осердя порошкового дроту на структуроутворення та підвищення показників властивостей зварних з'єднань із низьколегованих сталей високої міцності, створення композицій порошкових дротів та технології зварювання, що відповідають сучасним вимогам виробництва металоконструкцій.

При зварюванні порошковим дротом на основі типового базового легування металу зварного шва марганцем, кремнієм, нікелем, молібденом досягаються півні міцності по гранці текучості до 560 МПа, однак показники в'язко-пластичних характеристик не завжди відповідають вимогам. Відомим методом підвищення в'язко-пластичних характеристик металу зварного шва є додаткове мікролегування титаном і бором, яке дозволяє суттєво зменшити розміри зерен і підвищити об'ємну частку голкового фериту у мікроструктурі, що забезпечує достатньо високі показники в'язкості металу, але несуттєво впливає на показники міцності. Недоліком таких композицій є суттєве зниження механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання при їх термічній обробці. Тому при розробці промислових зразків порошкового дроту

для зварювання низьколегованих сталей підвищеної міцності з рівнем границі текучості понад 560 МПа такий тип мікролегування не застосовується.

Наукові та практичні завдання включали:

- Дослідження впливу комплексного мікролегування карбо-нітридоутворюючими та хімічно активними елементами та сполуками металу швів при зварюванні низьколегованих сталей підвищеної міцності на мікроструктуру та стан границь зерен металу з метою виявлення шляхів досягнення необхідних показників механічних властивостей металу шва і зварного з'єднання при використанні газозахисного порошкового дроту з осердям рутилового типу.

- Проведення розробки та експериментальної перевірки зразків порошкових дротів з комплексно мікролегованим осердям з метою оптимізації показників зварювання та наплавлення і механічних властивостей зварних з'єднань із листового прокату низьколегованих сталей неперервного лиття підвищеної міцності.

- Оптимізацію складів комплексних мікролігатур для використання у композиціях осердя порошкового дроту рутилового типу з визначенням рівня технічних показників згідно міжнародних стандартів на порошкові дроти для зварювання високоміцних сталей.

- Проведення робіт по вдосконаленню технології виготовлення газозахисних дротів малого діаметру для умов промислового виробництва.

- Розробку базової технології зварювання низьколегованих сталей високої міцності.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

1.1 Зносостійкість і зв'язок між фазовим та структурним станом поверхонь

Проблема підвищення надійності та довговічності обладнання і приладів є найважливішою етапі розвитку техніки. Вона грає велику роль в економії металів, трудових витрат та підвищенні ефективності виробництва. Тому вирішення нерозривно пов'язуване зі збільшенням зносостійкості рухливих контактуючих пар, і також з підвищенням конструкційної міцності елементів конструкцій, які працюють в різноманітних умовах експлуатації [1].

Найбільше поширення набула класифікація видів зношування за характером впливу на поверхню тертя та процесів, що протікають при експлуатації машини [3]:

- 1) механічне зношування: абразивне; гідроабразивне; газоабразивне; гідроерозійне; газоерозійне; утомне; зношування під час фретингу; зношування при заїданні;
- 2) корозійно-механічне: окислювальне; зношування при фретинг-корозії; електроерозійне.

Тому зношування представляє собою процес нагромадження залишкової деформації при терті і наступній поступовій зміні розмірів і форми у результаті руйнування матеріалу та відділення його від поверхні твердого тіла. Знос – наслідок зношування, визначений у прийнятних одиницях довжини, об'ємові, маси та інше. В практиці використовуються поняття інтенсивності зношування, швидкості зношування і зносостійкості [2, 5, 6].

Зносостійкість - властивість матеріалу чинити опір зношуванню за визначених умов тертя, яка оцінюється величиною, оберненою швидкості зношування чи інтенсивності зношування. Відносна зносостійкість – це

безрозмірний показник, що характеризує співвідношення абсолютних величин зносу двох матеріалів, один який прийнятий за еталон.

Інтенсивність зношування - це відношення величини зносу до шляху тертя, на якому відбулось зношування, або обсягу виконаної роботи. Зношування характеризується швидкістю зношування - відношенням значення зносу до інтервалу часу, у дії якого він виник або інтенсивністю зношування - відношенням зносу до обумовленого шляху, на якому відбувалось зношування, або до виконаної роботи. Розпізнають: миттєву (у визначений момент часу) та середню швидкість зношування (за визначений інтервал часу). Загалом під швидкістю зношування мають відношення величини зносу до часу зношування.

У практиці зносостійкість найчастіше оцінюють за показниками твердості, тобто такою характеристикою сплаву, яка визначається доступніше та простіше за інші. Роботи, були присвячені вивченню залежності між зносостійкістю та інтегральною твердістю, а також мікротвердістю структурні складові, зробили істотний внесок у розуміння проблем підвищення опору сталей та сплавів зношуванню. Як показували дослідження М.М. Хрущова і М.А. Бабічева [4, 5], ще десь в 60 роки, з підвищенням твердості чистих металів і низьколегованих сталей їх зносостійкість пропорційно збільшується (див. рис. 1.1).

Прямопропорційна залежність, яка виявляється між твердістю і зносостійкістю буде справедливою тільки для чистих металів. По мірі росту вмісту легуючих елементів у гетерогенних сплавах зростає внесок у зносостійкості за рахунок опору знищення на другій стадії акту зношування. Фізична природа розчинених елементів, та їх атомні радіуси, а також їхній тип, кількість і форма включень зміцнюючої фази – боридів, нітридів, карбідів інтерметалідів та їх сили зв'язку, – власні і з матрицею, сприяють підвищенню зносостійкості в тих межах, доки вони не окрихчують сплав до того стану, коли його робоча поверхня починає руйнуватися не в результаті елементарних актів зношування, скільки внаслідок утворення тріщин і відколів.

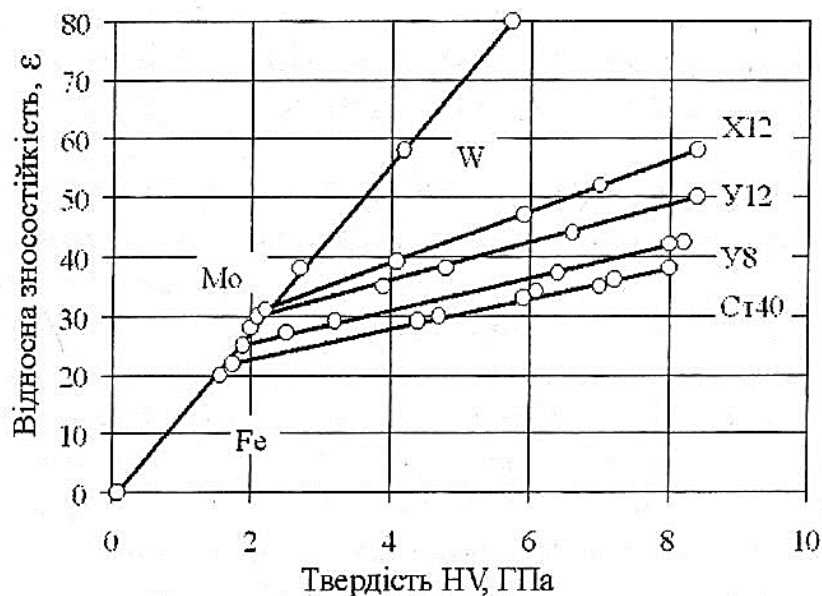


Рисунок 1.1 - Залежність зносостійкості від твердості металів та сплавів

Аналізуючи кількісні зв'язки між твердістю матеріалів (H) при вдавлюванні і їхній зносостійкістю (ϵ), Костецький Б.І. [7] виділив окремі групи матеріалів, на опір зношування яких впливає ще і міцність міжатомних зв'язків і характер зміцнення (легування, загартування, наклеп).

На практиці дослідження матеріалів накопичений значний обсяг інформації про роботи в області визначення залежності твердості – зносостійкості. Випробувалися в лабораторних і виробничих умовах матеріали різного хімічного складу в обумовлених умовах зношувального середовища. Спроби багатьох авторів узагальнити результати цих досліджень при побудові графіків у координатах твердість – відносна зносостійкість (рис. 1.2) для матеріалів із різним структурним станом і випробуваних у різних умовах показали, що при великій розбіжності представлених даних ілюструється тенденція прямопропорційної залежності зносостійкості від твердості. При цьому пряма пропорційність спостерігається тільки при випробуванні сплавів, які мають стабільну структуру, що не зазнає структурно-фазових перетворень під тиском абразивних тіл у процесі зношування.

Аналіз результатів дослідження опору зношуванню незакріпленими абразивними частками великої кількості сплавів різного складу і структури,

проведених авторами в умовах роботи прес-форм для пресування вогнетривів показує, що в сталях з нестабільною структурою, здатною до перетворень під впливом абразивних тіл у процесі зношування, виявляється складна залежність зносостійкості від твердості.

Вивчення зносостійкості на сьогоднішній день проводиться з різних підходів (див. рис. 1.3):

1. Взаємозв'язку зносостійкості і фізико – механічних властивостей матеріалу деталей, що зношуються.
2. Залежності зносостійкості від структурного складу матеріалу, що зношується, і змін мікроструктури в процесі експлуатації деталі.
3. Впливу зношувального середовища – хімічного і мінералогічного складу, розмірів і форми абразивних зерен.
4. Умов зношування – температури, величини і характеру прикладення навантаження, швидкості відносного переміщення, ступеня корозійного середовища.

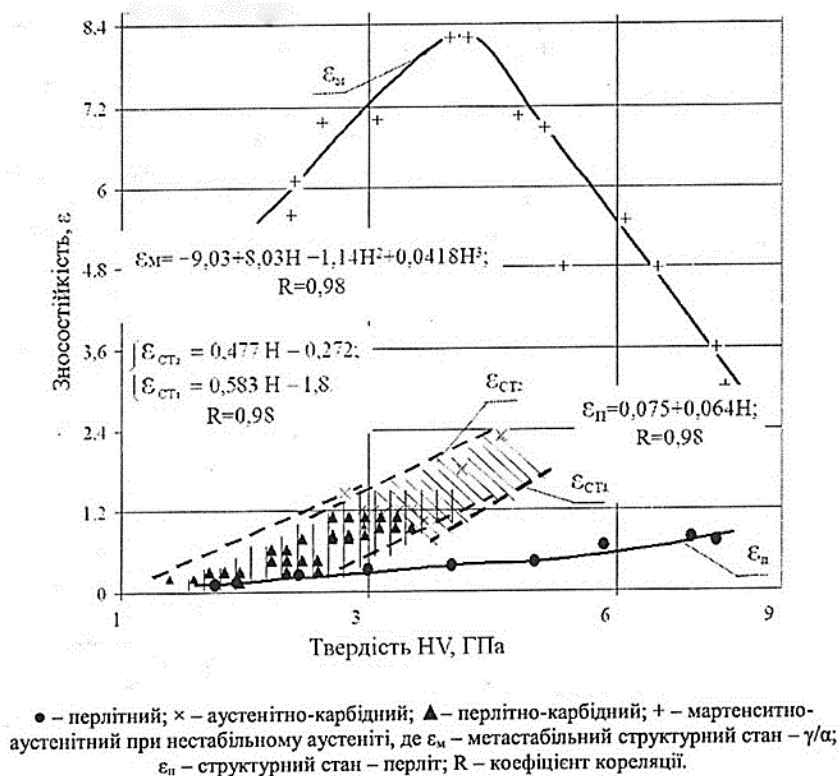


Рисунок 1.2 - Залежність зносостійкості від твердості сплавів у різному структурному стані [31]

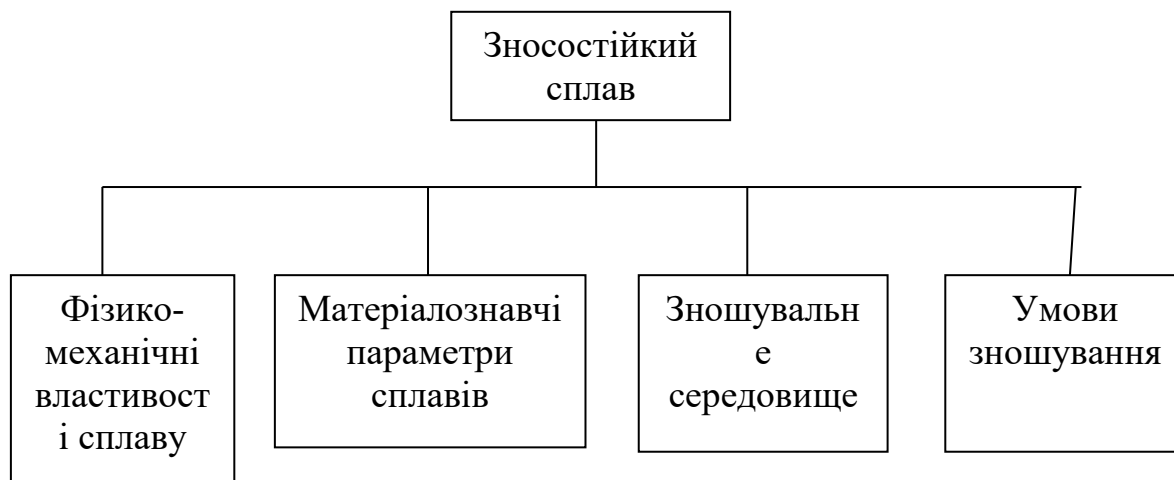


Рисунок 1.3 - Структурна схема залежності зносостійкості сплавів від факторів зношування

Ці різні підходи не є взаємно суперечливими, тим більше, що фактори, які враховуються в кожному з них, у реальних умовах зношування звичайно сполучаються в різних комбінаціях.

Фізико-механічні властивості матеріалу залежать від будови кожного зерна в полікристалічному комплексі, а також від структури і властивостей міжкристалічної речовини. Перераховані фактори для кожного матеріалу не постійні, а істотно залежать від хімічного складу, термічної і механічної обробок, технології виготовлення деталей, температури тощо.

Дослідженню впливу структури на зносостійкість сталей і сплавів присвячено багато робіт [8, 9–15], у яких відзначалося існування залежності опору сталей і сплавів зношуванню від їхнього структурного стану. Починалися спроби встановити як якісні, так і кількісні характеристики цієї залежності. Будь-які зміни структурного стану сталі і сплаву природно відбиваються на величині всіх характеристик механічних властивостей і, зокрема, твердості.

В роботі [16] автор пропонує два основних шляхи синтезу зносостійких сплавів:

- створення матеріалів з структурою, яка поглинає енергію та розсіює її шляхом зворотних фазових та структурних перетворень;

– створення матеріалів з відносно термостабільною структурою, яка розсіює енергію тепловими полями.

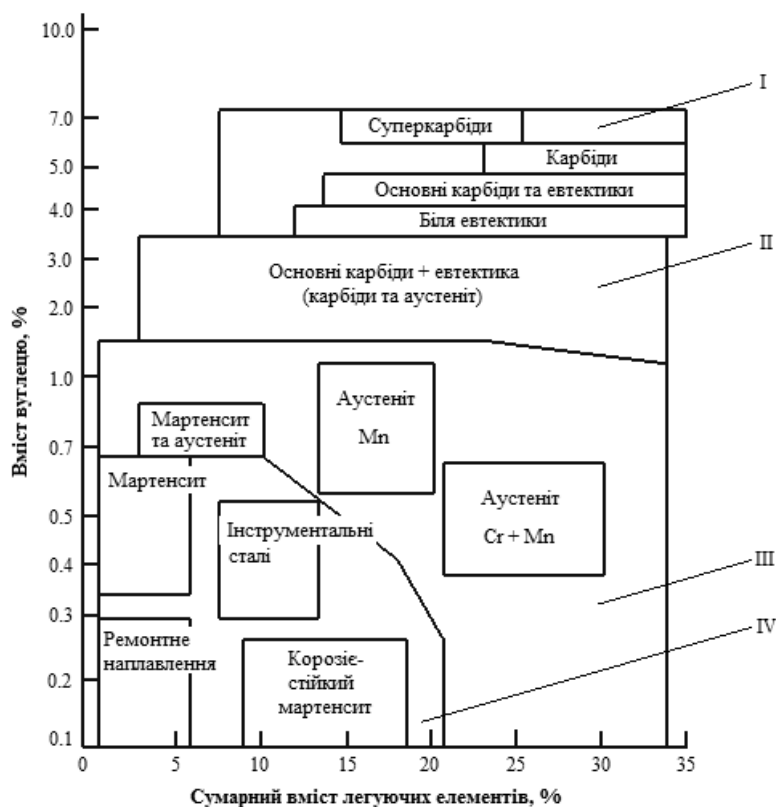
В першому випадку в різних умовах тертя в поверхневих шарах відбуваються фазові та структурні перетворення. За рахунок цього зносостійкість визначається кінетикою зворотніх структурних перетворень, які відбуваються на поверхнях тертя. Довговічність структури визначається здатністю швидкої перебудови в сприятливу для даного етапу роботи та умов тертя (принципи синергії).

Протидіяти зношуванню може метал, який має тверду складову (карбіди, борида, нітрида, оксиди, інтерметалеві сполуки). У багатьох випадках ці функції може виконувати сталь з мартенситною структурою. Тверді частки карбідів та інших сполук повинні міцно утримуватись матрицею – основою сплаву. Роль матриці в сталях і сплавах може виконувати мартенсит, ферит, аустеніт, ледебурит.

На рис. 1.4 показано області існування наплавних матеріалів різних структурних груп.

Діаграма побудована наступним чином: по осі ординат за логарифмічною шкалою (%) відкладено вміст вуглецю в наплавленому металі, по осі абсцис (%) - сумарний вміст Cr, Mn, Si, Mo, ... і Ti, найбільш поширених легуючих елементів для зміцнювального наплавлення на основі заліза.

Хороший ефект з точки зору тріщиностійкості дає застосування матеріалів, що забезпечують отримання наплавленого металу з аустенітною структурою (Рис. 1.5). Однак зносостійкість наплавленого металу цього типу в умовах сухого тертя металу по металу знаходиться на низькому рівні, а ціна матеріалів для наплавлення такого типу досить висока і їх застосування економічно не завжди виправдано.



I – матеріали для абразивного зносу; II - матеріали для абразивно-ударного зносу; III – матеріали для ударного зносу; IV – матеріали для зносу типу метал по металу при терті кочення і ковзання.

Рисунок 1.4 - Діаграма застосування наплавочних матеріалів при різних видах зношування [18]

Більш доцільно для відновлення деталей такого типу застосовувати матеріали, що забезпечують отримання наплавленого металу зі структурою метастабільного аустеніту (див.рис. 1.4). Подібну структуру можна отримати при використанні матеріалів для наплавлення, легованих хромом і марганцем. Попередній наклеп або наклеп безпосередньо в процесі експлуатації призводить до розпаду метастабільного аустеніту, а також збільшенню твердості і зносостійкості наплавленого металу.

На параметри зносостійкості при абразивному зношуванні впливає початкова твердість та співвідношення структурних складових: мартенситу, аустеніту та кількості карбідної фази. Наплавлені матеріали, структура яких складається з перліту з невеликою кількістю карбідної фази, та матеріали з

аустенітною або мартенситною структурами мають невисоку зносостійкість при абразивному зношуванні.

Не випадково, що сьогодні найбільше практичне значення має класифікація наплавленого металу за хімічним складом і структурними ознаками. Склад легуючих елементів у наплавленому металі визначає його структуру і властивості, відповідність умовам експлуатації виробу. Зносостійкість наплавлених шарів визначається не тільки наявністю в сплаві тих чи інших легуючих елементів, але і будовою матриці - основи сплаву [17].

Для умов тертя металу по металу виділені наступні структурні групи: мартенсит, зміцнений карбідами МК1; аустеніт марганцевий тип А2; аустеніт хромомарганцевий тип А3; аустеніт типів 2 і 3, зміцнений карбідами А2К, А3К. В таблиці 1.1 приведені характеристики груп, що рекомендовані для зносостійкого наплавлення поверхонь в умовах тертя металу по металу.

Кожна з вказаних структурних груп має високий опір при терті метала по металу, але вибір матеріалу для наплавлення ускладнюється достатньо широким діапазоном змін хімічного складу композицій у межах окремої структурної групи та залежністю типу структури від умов охолодження при наплавленні.

Таблиця 1.1 - Основні характеристики сплавів для наплавлення за 11Е-221-96 [18]

Показник	Структурна група наплавних матеріалів			
	МК1	А2	А3	А2К, А3К
Хімічний склад, %	(0.5-1.5)%C; Cr+W+Mo+V(Co)= =7-16%	(0.7-1.2)%C; Mn+Cr+Ni= =13-25%; звичайно 12-14%(Mn+Cr) і/або Ni	(0.5-0.7)%C; Mn+Cr= =25-35%	(0.9-1.7)%C; Mn+Cr+Nb= =15-30%
Мікроструктура	Мартенсит з сіткою карбідів в стані після наплавлення.	Аустеніт або аустеніт, зміцнений карбідами.	Аустеніт. Термічна обробка не бажана	Аустеніт з дрібно-дисперсними карбідами
Твердість	55-62HRC в стані після наплавлення.	200НВ в стані після наплавлення	200НВ в стані після наплавлення	250-300НВ в стані після наплавлення. В процесі роботи - зміцнення до 45HRC
Опір при терті метала по металу	Високий	Високий	Високий	Високий

Таким чином, враховуючи суттєвий вплив структурного і фазового складу поверхонь на їх зносостійкість, при виборі шляхів підвищення зносостійкості слід орієнтуватися на можливість покращення структурних властивостей матеріалів, які пропонує промисловість, бо розроблення нових матеріалів на основі легування рідкісними та дорогими елементами є процесом малоперспективним з економічної та екологічної точок зору.

1.2 Відновлення та підвищення зносостійкості поверхонь

Наплавлення – це нанесення одного чи кількох шарів матеріалу на поверхню виробу з використанням процесів зварювання, а також є складний металургійний процес, що вимагає комплексного вирішення ряду важливих питань: вибір наплавочного матеріалу, що забезпечує необхідні властивості, які відповідають умовам експлуатації; вибір способу і режиму наплавлення [19-23].

На сьогодні підходи до вибору наплавлення матеріалів з метою забезпечення зносостійкості визначається видом зносу [24-27]. У свою чергу, вид зносу залежить, зазначалось, від умов роботи машини, агрегату, вузла. Велика кількість деталей машин і механізмів, які використовуються в різних галузях промисловості, зношуються в результаті сухого тертя металу по металу. Багато з них відновлюють різними способами наплавлення [23, 28–30].

Як правило, такі деталі виготовляють зі середньо- і високовуглецевих нелегованих або низьколегованих конструкційних сталей [31]. Підвищений вміст вуглецю забезпечує високу твердість і міцність матеріалів, однак через невисокий вміст легуючих елементів їх зносостійкість знаходиться на відносно невисокому рівні. Появи тріщин можна уникнути, застосовуючи спеціальні технологічні заходи, такі як підігрів деталі до 300...400 °С з подальшим уповільненим охолодженням після наплавлення.

Як було вказано у 1.1 працездатність матеріалів для наплавлення визначається зокрема хімічним складом та структурою, тому не випадково у

рекомендаціях до вибору матеріалів їх склад класифіковано за хімічним складом, структурою, твердістю та призначенням [18, 32, 33].

Матеріали на залізовуглецевій основі поділені на 20 видів з умовними позначками Fe1-Fe20. У межах кожного із поділених видів сплаву вказаний також широкий діапазон зміни легуючих елементів, зокрема по вуглецю, хрому, нікелю, марганцю.

У таблицях 1.2-1.3 наведено хімічний склад, властивості, приклади застосування, структура та склад сплавів на залізовуглецевій основі для тертя твердих тіл.

Науковці розробили, а промисловість використовує ряд матеріалів, що відповідають матеріалам, наведеним в таблиці 1.2. Проте аналіз наведених рекомендацій показує, що у кожному випадку вибір відповідного легування для того чи іншого виду зношування не повністю відповідає заданим вимогам. Так, наприклад, матеріали груп Fe₁-Fe₃ та Fe₉-Fe₁₂ (див. табл. 1.2) не дають добрих та відмінних результатів для зношування в умовах тертя (див. табл. 1.3), тож подальше вдосконалення матеріалів для наплавлення є актуальною проблемою.

Підвищення ефективності застосування наплавних матеріалів має два шляхи вирішення – або застосування спеціальних легуючих систем та матеріалів, або пошук нових підходів щодо керування структурою і властивостями наплавленого металу без зміни системи легування. Вирішення проблеми за рахунок застосування високолегованих сталей є не тільки неекономічним, але, враховуючи зменшення запасів легуючих елементів на землі, безперспективним. Особливо гостро ця ситуація проявляється в Україні, яка має власні запаси лише заліза, марганцю, алюмінію, титану, а таких необхідних елементів для високолегованих сплавів, як Ni, Cr, V, Mo, W тощо не має. Тож необхідно вирішувати вказану проблему шляхом зміни властивостей наплавленого металу.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та властивості рекомендованих сплавів на залізовуглецевій основі при терті твердих тіл [32]

Умовна позначка ^a	Властивості	Масова частка елементів, %									
		C	Cr	Ni	Mn	Mo	W	V	Nb	Інші	Решта
Fe1	p	≤0,4	≤3,5	-	0,5-3,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	-	-	Fe
Fe2	p	0,4-1,2	≤7,0	≤1,0	0,5-3,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	-	-	Fe
Fe3	st	0,2-0,5	1,0-8,0	≤5,0	≤3,0	≤4,5	≤10,0	≤1,5	-	Co, Si	Fe
Fe4	st (p)	0,2-1,5	2,0-6,0	≤4,0	≤3,0	≤10,0	≤19,0	≤4,0	-	Co, Ti	Fe
Fe5	cpst w	≤0,5	≤0,1	17,0-22,0	≤1,0	3,0-5,0	-	-	-	Co, Al	Fe
Fe6	gps	≤2,5	≤10,0	-	≤3,0	≤3,0	-	-	≤10,0	Ti	Fe
Fe7	cpt	≤0,2	4,0-30,0	≤6,0	≤3,0	≤2,0	-	≤1,0	≤1,0	Si	Fe
Fe8	gpt	0,2-2	5,0-18,0	-	0,3-3,0	≤4,5	≤2,0	≤2,0	≤10,0	Si, Ti	Fe
Fe9	k(n) p	0,3-1,2	≤19,0	≤3,0	11,0-18,0	≤2,0	-	≤1,0	-	Ti	Fe
Fe10	ck(n) pz	≤0,25	17,0-22,0	7,0-11,0	3,0-8,0	≤1,5	-	-	≤1,5	Si	Fe
Fe11	cnz	≤0,3	18,0-21,0	8,0-20,0	≤3,0	≤4,0	-	-	≤1,5	Cu	Fe
Fe12	c(n) z	≤0,08	17,0-26,0	9,0-26,0	0,5-3,0	≤4,0	-	-	≤1,5	-	Fe
Fe13	g	≤1,5	≤6,5	≤4,0	0,5-3,0	≤4,0	-	-	-	B, Ti	Fe
Fe14	g(c)	1,5-4,5	25,0-40,0	≤4,0	0,5-3,0	≤4,0	-	-	-	-	Fe
Fe15	g	4,5-5,5	20,0-40,0	≤4,0	0,5-3,0	≤2,0	-	-	≤10,0	B	Fe
Fe16	gz	4,0-7,5	10,0-40,0	-	≤3,0	≤9,0	≤8,0	≤10,0	≤10,0	B, Co	Fe
Fe20	cgtz	твердий	-	-	-	-	-	-	-	-	Fe

Властивості: c: корозійна стійкість; n: немагнітний матеріал; t: термостійкість; g: абразивна зносостійкість; p: ударна стійкість; z: стійкість проти сколів; k: зміцнення при експлуатації; s: збереження ріжучої крайки; w: дисперсійне твердіння;

^a - сплави, які не включені в цю таблицю, але мають аналогічне позначення, повинні бути позначені літерою Z поперед позначення;

^б - плавлений карбід вольфраму або карбід вольфраму дроблений або сферичний.

Перспективним напрямком підвищення зносостійкості з використанням рекомендованих матеріалів без змін систем легування може бути вплив на структурний фактор з метою подрібнення структурних складових.

Подрібнення структурних складових наплавленого металу може бути досягнуто введенням в зварювальну ванну модифікаторів, які впливають на умови кристалізації, розмір первинної структури і, відповідно, властивості наплавлених валиків.

Таблиця 1.3 - Властивості сплавів різних типів, їхня структура й твердість [32]

Умовна позначка	Властивості							Сплав/мікроструктура	Твердість	
	Механічні		Термічні		Корозійна стійкість	Тріщино-стійкість	Оброблюваність		[HB]	[HRC]
	Опір тертю	Опір ударам	Опір високотемпературному впливу	Опір термічним ударам						
Fe1	3 і 4	2 і 3	4	4	4	1	1	Феритна/мартенситна	150-450	-
Fe2	3 і 4	2	4	4	4	2	3	Мартенситна	-	30-58
Fe3	3	2	2	2	3	2	2	Мартенситна (карбіди)	-	40-55
Fe4	2	2 і 3	1 і 2	1 і 2	3	2 і 3	3 і 4	Мартенситна +	-	55-65
Fe5	2	1	1	1	2	1	1	Мартенситна	-	30-40
Fe6	1	1	2 і 3	2 і 3	4	2 і 3	3 і 4	Мартенситна +	-	48-55 ^a
Fe7	2	2	1 і 2	1 і 2	1 і 2	1	1 і 2	Феритна/мартенситна	250-450	-
Fe8	1 і 2	1 і 2	4	4	3	2 і 3	3 і 4	Мартенситна +	-	50-65
Fe9	4	1	4	4	2 і 3	1 і 2	3	Аустенітна	200-250	40-50 ^б
Fe10	4	1	1 і 2	1	2	1	2	Аустенітна	180-200	38-42 ^б
Fe11	4	3	1	4	1	1	1	Аустенітна	-	-
Fe12	4	3	1	4	1	1	1	Аустенітна	150-250	-
Fe13	1	4	2	4	4	4	4	Мартенситна/аустенітна	-	55-65
Fe14	1	3 і 4	3	4	2	4	4	Мартенситна/аустенітна + карбіди	-	40-60
Fe15	1	4	2	4	3	4	4	Мартенситна/аустенітна + карбіди	-	55-65
Fe16	1	4	1	4	3	4	4	Мартенситна/аустенітна + карбіди	-	60-70
Fe20	1	3	3	4	3	4	4	Тверді включення в Fe-матриці	1500-2800 HV (твердий матеріал)	50-60 (матриця)

Критерії властивостей: 1 - відмінно; 2 - добре; 3 - прийнятно; 4 - не прийнятно;

^a - після штучного старіння за темп. 480 °С 3-4 год.

^б - після зміцнення в процесі експлуатації

2 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження шляхів керування переносом електродного металу при зварюванні порошковим дротом

Проведені дослідження технологічних характеристик плавлення та переносу металу у зварювальну ванну при зварюванні-наплавленні дротами з порошковим осердям рутилового та основного типів, а також з метало-порошковим осердям. Зварювання проводили в середовищі захисного газу на прямій та зворотній полярності струму при використанні зварювальних джерел тиристорного (BC 600 фірми «Селма») та інверторного («Trans Synergic 5000» фірми «Fronius») типів. Проведені дослідження дозволили встановити, що стабільність дугового процесу зварювання-наплавлення за результатами реєстрації та статистичної обробки даних напруги дуги та зварювального струму вища при використанні прямої полярності та зварювальних джерел живлення інверторного типу з регульованими динамічними характеристиками. При зварюванні газозахисними порошковим дротами на зворотній полярності стабільність процесу суттєво залежить від типу осердя. Нижчі показники стабільності реєструються при зварюванні порошковим дротом з основним типом осердя. В цьому випадку характер переносу металу крупно-крапельний з більшим числом коротких замикань. Для підвищення стабільності при зварюванні порошковими дротами цього типу доцільно використовувати пряму полярність струму або джерела живлення інверторного типу з регулюванням динамічних характеристик та вибором відповідного складу захисного газу.

Більшість наявних на ринку сучасних джерел живлення зварювального струму побудовані за інверторною схемою [34–37]. При цьому такі джерела живлення нерозривно прив'язане до конкретного типу обладнання для подавання електродного дроту. У простому виконанні варіанті таке джерело

дозволяє виконувати механізоване зварювання електродним дроту, що плавиться, в захисних газах низьколегованих і корозійностійких сталей та алюмінію. Можливе використання у якості електродного порошкових газозахисних та самозахисних дротів.

Особливістю високочастотних інверторів є висока стабільність та якість зварювання різних матеріалів у широкому діапазоні товщини з мінімальним розбризкуванням металу. Таке встаткування в ряді випадків забезпечує високоякісне зварювання й покритими електродами з усіма видами покриттів [37].

Основою системи керування є інтерактивний контролер джерела живлення, поєднаний із цифровим сигнальним процесором для прискорення обробки перетворених аналогових електричних сигналів зварювального процесу в цифрові дані. Ці два блоки спільно здійснюють усі функції моніторингу та регулювання зварювального процесу (налаштування зварювального струму та напруги дуги в режимі реального часу). У ході зварювального процесу проводиться безперервний вимір фактичних значень зварювальних параметрів і будь-яка їхня зміна викликає реакцію системи керування. Наприклад, розроблені фірмою «Fronius» алгоритми керування забезпечують підтримку необхідних заданих значень при зварюванні широким спектром зварювальних дротів. Завдяки цьому забезпечується недосяжна раніше точність зварювального процесу, точна відтворюваність результатів та відмінні зварювальні характеристики.

Зварювання електродним дротом можливо проводити в імпульсному режимі зварюванні, причому можливо задавати форми імпульсів струму у часі, а не тільки їх частоту та амплітуду. При достатньому технологічному напрацюванні ця властивість дозволяє покращити якість зварних з'єднань. Наприклад, введення функції подвійного імпульсу покращує очищення металу, у результаті чого зварний шов формується того ж виду, що й при зварюванні вольфрамовим електродом.

Застосування синергетичного способу регулювання однієї кнопкою вирішує проблему встановлення правильного співвідношення швидкості подавання електродного дроту й напруги для кожного типу зварювальних матеріалів залежно від ряду вихідних параметрів (діаметра електродного дроту, що зварюється матеріалу, виду захисних газів, додаткових функцій заварки кратера, параметрів імпульсного зварювання та інших). Контроль за процесом зварюванням та всі види регулювання (налаштування параметрів зварювального процесу) зазвичай здійснюються з панелі керування або спеціального пульта. Наприклад, зварювальна установка «Trans Synergic 5000» фірми «Fronius» має ряд програм для звичайного імпульсного зварювання. Сучасні джерела живлення зварювального струму надають можливість створення власних програм, налаштованих під конкретний тип зварювального матеріалу, основного металу та типу з'єднання [37].

Стосовно обладнання фірми «Fronius», наприклад режим «Synchro Puls» дозволяє перемикає у процесі зварювання зварювальну потужність між двома робочими рівнями за рахунок позитивної та негативної зміни заданої зварювальної потужності на величину, задану параметром dF . Цей параметр, а також частота зміни рівня робочої потужності F настраюються та задаються через системне меню. Коригування довжини дуги нижньої робочої точки dl здійснюється за допомогою відповідного параметра на панелі управління.

На рис. 2.1 схематично зображено принцип роботи функції «Synchro Puls» в імпульсному режимі зварювального апарата «Trans Synergic 5000» фірми «Fronius».

Дослідження технологічних характеристик плавлення та переносу електродного металу при зварюванні порошковим дротом при використанні джерел живлення інвентарного типу проводились у порівняльних умовах для комплектів напівавтоматичного зварювання «Vario Synergic 5000» (виробник — фірма «Fronius») та зварювальних випрямляч ВС-600С разом з механізмом подавання електродного дроту ПДГ-510 (виробник — фірма «Селма»). В

парогазовій фазі. Перенесення електродного металу може бути оцінене на підставі тривалості коротких замикань. Висока інформативність цього параметра була підтверджена великою кількістю експериментальних даних. При відсутності коротких замикань, ступінь флуктуації напруги і струму зварювання нижче, але все ж вони мають місце і можуть сильно впливати на зварювальний процес. Ці умови більш типові для визначених типів процесів зварювання, наприклад, для зварювання порошковим дротом малого діаметра [38, 39].

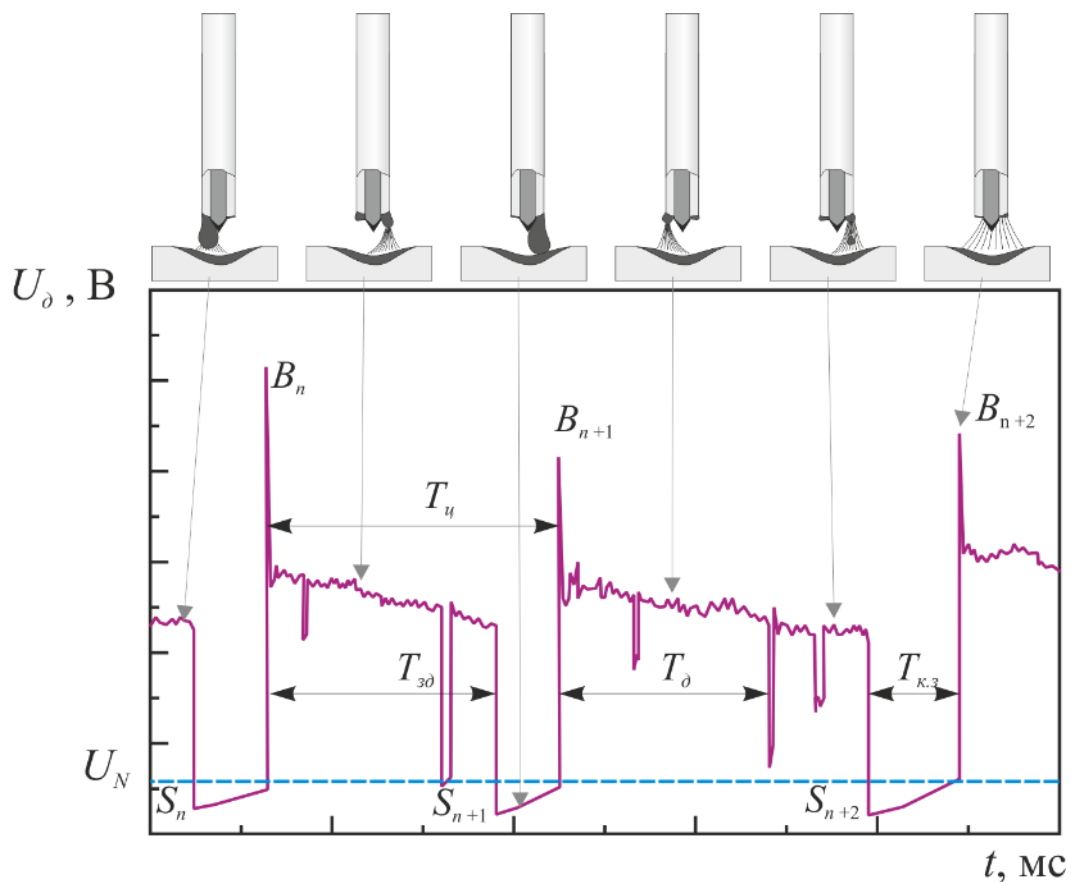


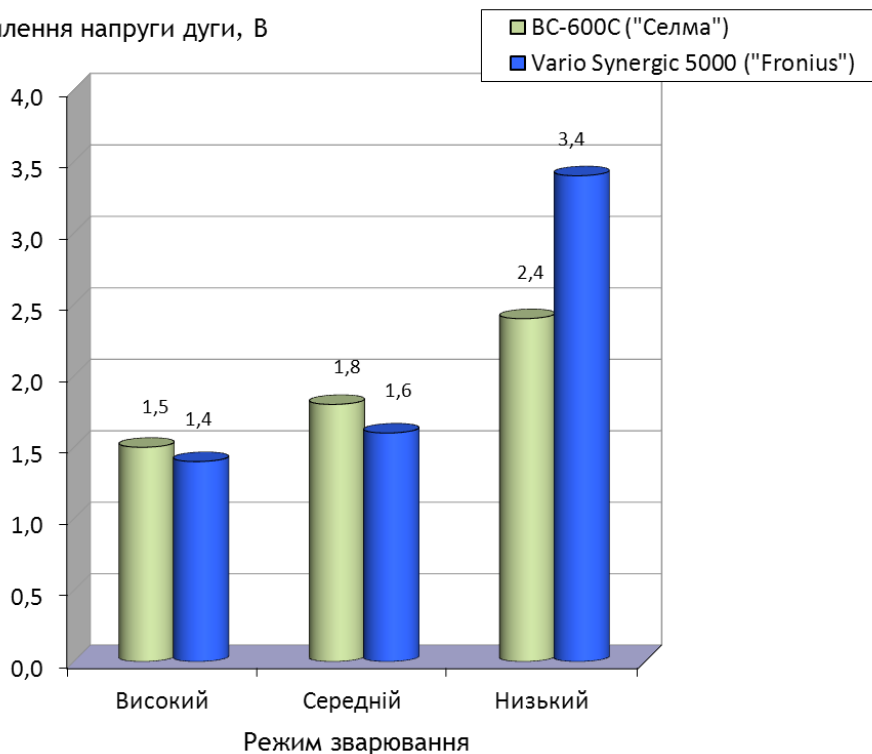
Рисунок 2.2 - Схематична ілюстрація аналізу процесу зварювання з короткими замиканнями порошковим дротом по моніторингу значення напруги дуги: T_u — тривалість циклу коротких замикань; $T_{зд}$ — середньозважена тривалість горіння дуги між послідовними короткими замиканнями, що аналізуються; T_δ — тривалість незбуреного горіння дуги (дрібно-крапельного або пароподібного перенесення електродного металу); $T_{к.з}$ — тривалість короткого замикання; U_N — граничне значення напруги короткого замикання; B і S — інтервали відповідно горіння дуги та короткого замикання.

Таким чином, був використаний комплексний підхід, який поєднує досягнення цифрового аналізу й обробки даних із знанням фізики та металургії конкретного процесу для вирішення проблеми моніторингу, забезпечення якості й об'єктивної оцінки властивостей. Інтелектуальна система моніторингу процесу має використовувати фізико-математичні та стохастичні моделі процесу дугового зварювання порошковим дротом, що ґрунтуються на щільності розподілу ймовірності сигналів напруги і струму процесу зварювання і розподілів за класами частот часових змінних, наприклад, часу горіння дуги і часу коротких замикань. Крім того необхідно враховувати фізичні явища при дуговому розряді.

На рис. 2.3 та 2.4 наведено порівняння характеристики стабільності процесу зварювання порошковим дротом з рутиловим типом осердя на різних режимах при використанні зварювального випрямляча та інверторного джерела відповідно по напрузі дуги та силі зварювального струму, а на 2.5 і 2.6 — аналогічні дані для порошкового дроту типу «metal-core».

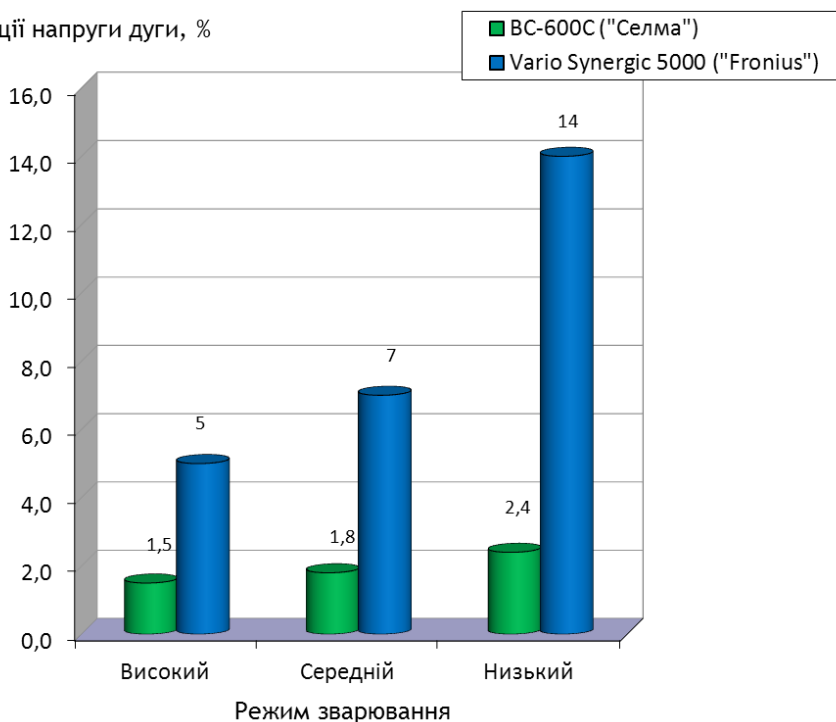
Результати досліджень показали суттєву різницю в масо-перенесенні електродного металу. Про це свідчать відмінності форм кривих розподілення ймовірності значень зварювального струму та напруги дуги та результати статистичної обробки даних електричних сигналів дугового зварювання. Практично в усіх випадках процес зварювання з використанням інверторного джерела живлення характеризується більш високими показниками стабільності. Виняток: при зварюванні на знижених режимах порошковим дротом рутилового типу. В цьому випадку були одержані результати одного рівня.

Стандартне відхилення напруги дуги, В



а)

Коефіцієнт варіації напруги дуги, %



б)

Рисунок 2.3 - Порівняльні характеристики стабільності процесу зварювання порошковим дротом рутилового типу на різних режимах при використанні зварювального випрямляча та інверторного джерела: стандартного відхилення (а) та коефіцієнта варіації напруги дуги (б).

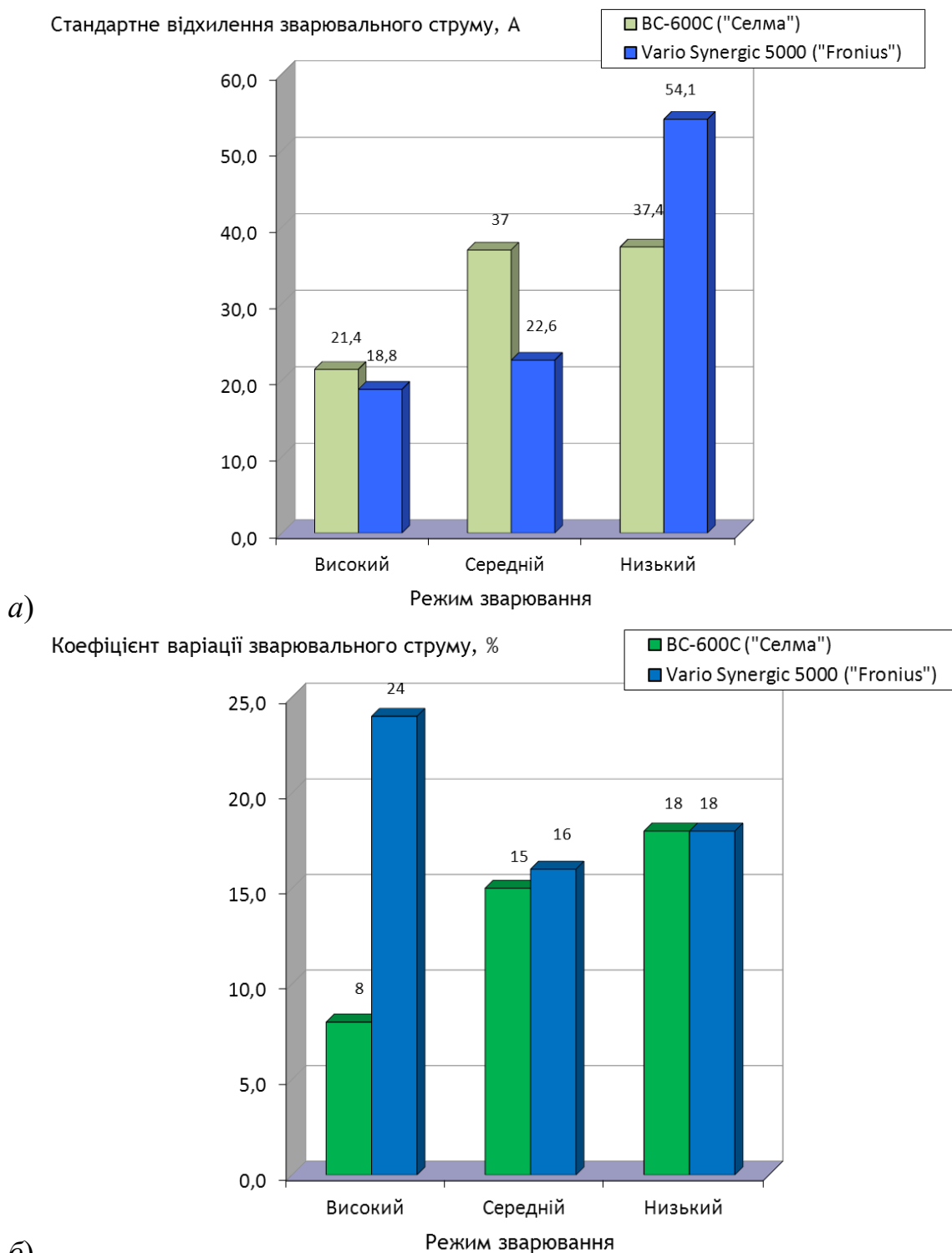
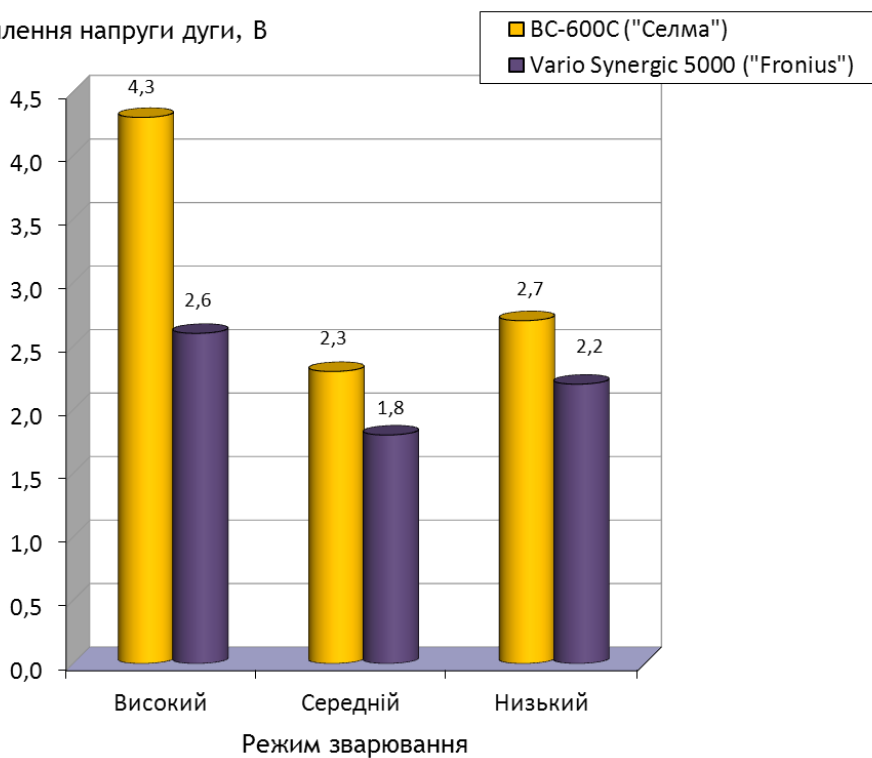


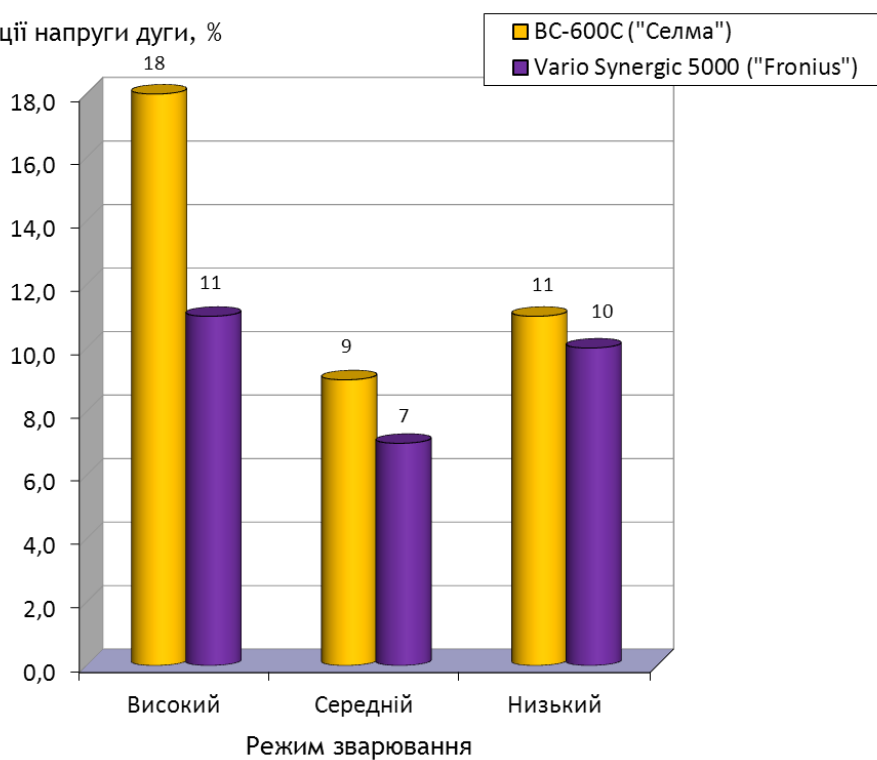
Рисунок 2.4 - Порівняльні характеристики стабільності процесу зварювання порошковим дротом рутилового типу на різних режимах при використанні зварювального випрямляча та інверторного джерела: стандартного відхилення (а) та коефіцієнта варіації сили зварювального струму (б).

Стандартне відхилення напруги дуги, В



а)

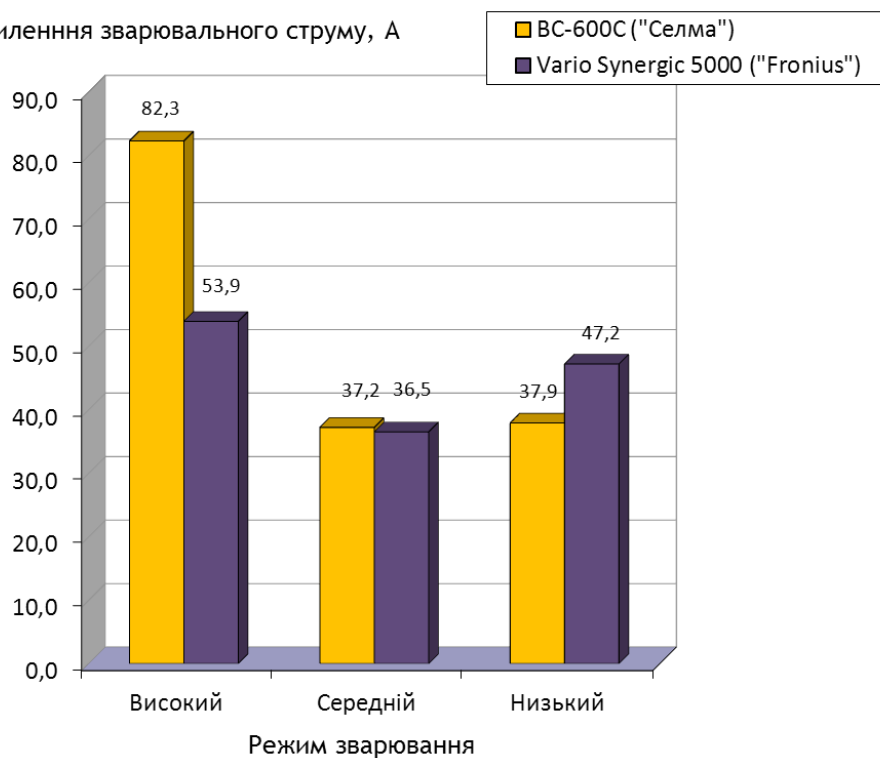
Коефіцієнт варіації напруги дуги, %



б)

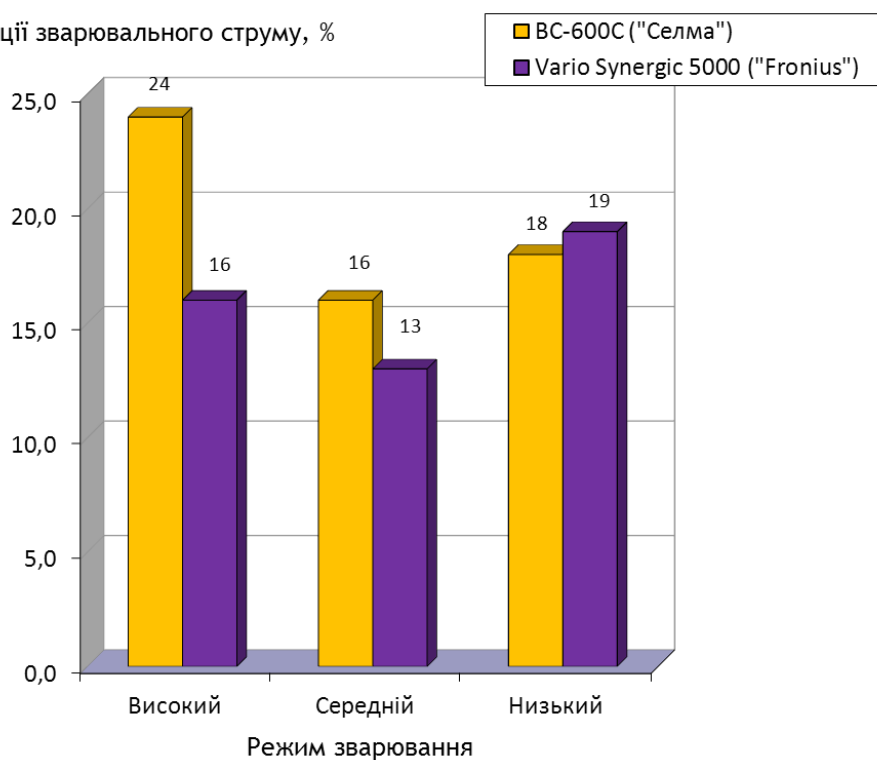
Рисунок 2.5 - Порівняльні характеристики стабільності процесу зварювання порошковим дротом типу «metal-core» на різних режимах при використанні зварювального випрямляча та інверторного джерела: стандартного відхилення (а) та коефіцієнта варіації напруги дуги (б)..

Стандартне відхилення зварювального струму, А



а)

Коефіцієнт варіації зварювального струму, %



б)

Рисунок 2.6 - Порівняльні характеристики стабільності процесу зварювання порошковим дротом типу «metal-core» на різних режимах при використанні зварювального випрямляча та інверторного джерела: стандартного відхилення (а) та коефіцієнта варіації сили зварювального струму (б).

При використанні інверторного джерела живлення «Vario Synergic 5000» дійсно відбувається керування переносом електродного металу, спрямоване на зменшення розмірів крапель електродного металу. Перенос електродного металу проходить без різких змін і коливань параметрів процесу, при загальному зниженні енерговитрат. Найбільш сильно це помітно при зварюванні порошковим дротом з металевим типом осердя. В системі управління інверторного джерела живлення «Vario Synergic 5000» використовується програмне керування динамічними характеристиками процесу дугового зварювання відповідно до типу дроту, що використовується — тип дроту задається програмному пристрою перед зварюванням до налаштування параметрів режиму. Регулювання параметрів зварювання можливе лише у визначених програмою межах для кожного типу зварювального дроту, що виключає помилки зварників — джерело живлення автоматично відключається при порушенні рекомендованого діапазону регулювання.

При використанні джерела живлення ВС-600С тиристорного типу для досягнення сприятливих характеристик горіння дуги зварник вимушений самостійно підбирати найбільш відповідні показники параметрів режиму зварювання. Регулювання динамічних характеристик не реалізується.

2.2 Чисельні дослідження металургійних реакцій, моделювання їх розвитку в умовах електродугового зварювання порошковим дротом

При розробці методики чисельного моделювання і аналізу ступеню розвитку металургійних реакцій при плавленні електродного металу на прикладі дугового зварювання порошковим дротом необхідно було провести розрахунки температурних умов нагрівання і плавлення складових присадного матеріалу. З цією метою були проведено розрахунки температурних умов нагрівання оболонки та осередня порошкового дроту трубчатого перетину діаметром 1,2; 1,6 та 2,0 мм, виготовленого із низьковуглецевої стрічки товщиною 0,5 та 0,8 мм, з осердям карбонатно-

флюоритного, рутилового та метало-порошкового типу. При розрахунках приймалося до уваги, що оболонка порошкового дроту при зварюванні нагрівається переважно за рахунок тепла, що виділяється при проходженні зварювального струму, і тепла від активної плями зварювальної дуги. При цьому на вильоті (на ділянці дроту від контактної пристрою до дуги) установлюється близьке до квазістаціонарного температурне поле. Це дозволяє моделювати осердя порошкового дроту у вигляді циліндра нескінченної довжини, що нагрівається із зовнішньої поверхні та торця, і проводити розрахункові оцінки. В модельних розрахунках допускалося нагрівання оболонки порошкового дроту на вильоті до температури плавлення сталі ($\sim 1500^\circ\text{C}$). Оскільки теплопровідність порошкового композита в десятки разів менше теплопровідності металу, то при високих швидкостях плавлення тепло передане торцю електродного дроту від дуги, поширюється на значно меншу довжину. У випадку моделювання порошкового дроту карбонатно-флюоритного та рутилового типу розрахункові оцінки показали, що порошковий композит осердя дроту при зварювальному струмі 350 ... 400 А (для діаметра дроту 2,0 мм), що відповідає високій швидкості подавання та плавлення дроту, нагрівається в основному за рахунок теплопередачі від дуги й у меншій мірі від оболонки. У випадку метало-порошкового дроту, осердя якого складається із суміші металевих порошків на 95 ... 97 % (мас.) необхідно враховувати нагрівання осердя від оболонки дроту. Проведені розрахунки дають змогу оцінювати ступінь розвитку реакцій у порошковому композиті, використовуючи дані досліджень композицій осердь порошкових дротів, одержані термоаналітичними методами.

Самозахисні порошкові дроти являють собою зварювальний матеріал, застосування якого не вимагає подачі захисного газу (наприклад, при виконанні зварювально-складальних та монтажних робіт, де подача захисного газу утруднена). Незадовільний захист розплавленого електродного металу, що переноситься у зварювальну ванну і некритої

розплавом шлаку поверхні зварювальної ванни від шкідливої взаємодії з киснем та азотом оточуючого повітря може призвести до пористості та погіршення механічних властивостей металу зварного шва через надмірне утворення гострокутних неметалевих включень нітридного типу. Тому, наприклад, в самозахисних порошкових дротах карбонатно-флюоритного типу газовий захист розплавленого металу формується за рахунок термохімічних реакцій розкладання карбонатів і фтор- силікатів, що входять до складу порошкового осердя таких дротів, з утворенням захисної газової атмосфери.

При зварюванні в монтажних умовах, де зона зварювання неминує підпадає під вплив неконтрольованих повітряних потоків, досить гостро постає питання надійності захисту розплавленого металу. У цьому випадку ефективність захисту на практиці прийнято оцінювати по можливості подовження дуги ΔU_d [41].

$$\Delta U_d = U_d^{max} - U_d^{min}, \quad (2.1)$$

де U_d^{min} — мінімальна напруга дуги, при якому можливе зварювання для заданої величини зварювального струму (швидкості подачі електродного дроту), а U_d^{max} — максимальна напруга дуги, при якому вдається одержувати суцільні шви, тобто шви, у яких відсутньої пори, викликані перенасиченням металу азотом.

Використовуючи методику, викладену в [41], провели оцінку стійкості формованого газового захисту при зварюванні самозахисними порошковими дротами карбонатно-флюоритного типу діаметром 2,2 мм до впливу вітру в зоні зварювання. Склади газоутворюючої частини порошкових осердь дротів наведені в табл. 2.1. У якості шлакоутворюючих компонентів в осерді дротів вводилися флюорит (CaF_2), рутил (TiO_2), перовскит (CaTiO_3), воластоніт ($\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$) та глинозем (Al_2O_3). Наплавлення контрольних валиків на пластини низьколегованої сталі проводилися при величині зварювального струму на рівні $I_{зс} \sim 280$ А. Всі чотири дроти продемонстрували хороші захисні властивості при зварюванні під впливом вітрового потоку в зоні

зварювання зі швидкістю до 5 м/с. Однак, погіршення ефективності сформованого ними газового захисту розплавленого металу (зменшення припустимого подовження дуги) при збільшенні швидкості вітру більше 5 м/с у порошкових дротів КФ1 і КФ3 помітніше чим у дротів КФ2 і КФ4. Газовий аналіз зразків, вирізаних із центральної частини шестишарових наплавлень, показав, що зі збільшенням швидкості вітру в зоні зварювання вміст азоту в наплавленому металі підвищується, причому темп наростання вмісту азоту на пряму корелюється з темпом звуження діапазону робочих напруг на дузі (див. рис. 2.7 і 2.8).

Таблиця 2.1 - Склад газотворюючої композиції порошкових дротів

Компоненти порошкового осердя дроту	Вміст компонентів, % (мас.)							
	в дроті				в порошковому осерді дроту			
	КФ1	КФ2	КФ3	КФ4	КФ1	КФ2	КФ3	КФ4
CaCO ₃	2,8	2,6	3,7	3,9	16,1	16,2	22,4	21,2
Na ₂ CO ₃	2,1	1,6	—	1,5	12,1	9,9	—	8,1
Na ₂ SiF ₆	—	1,2	2,1	2,3	—	7,5	12,8	12,5

[N], % (мас.)

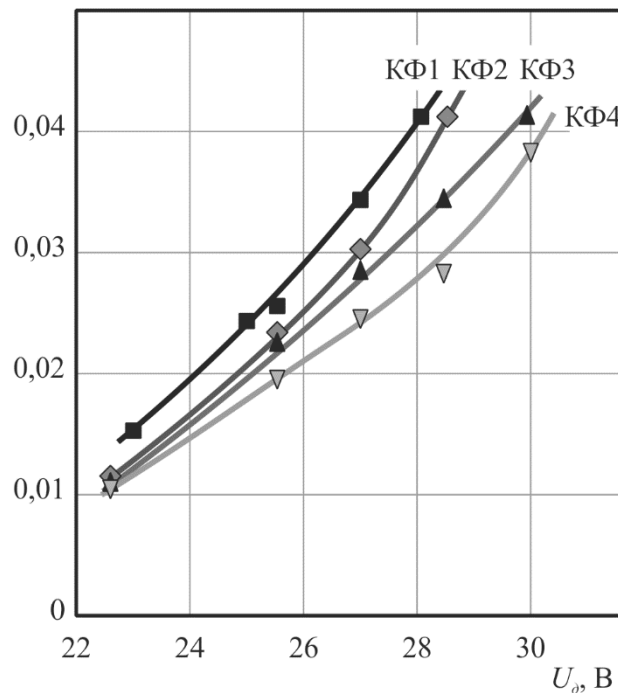


Рисунок 2.7 - Вплив напруги дуги на вміст азоту в металі, наплавленому порошковими дротами карбонатно-флюоритного типу.

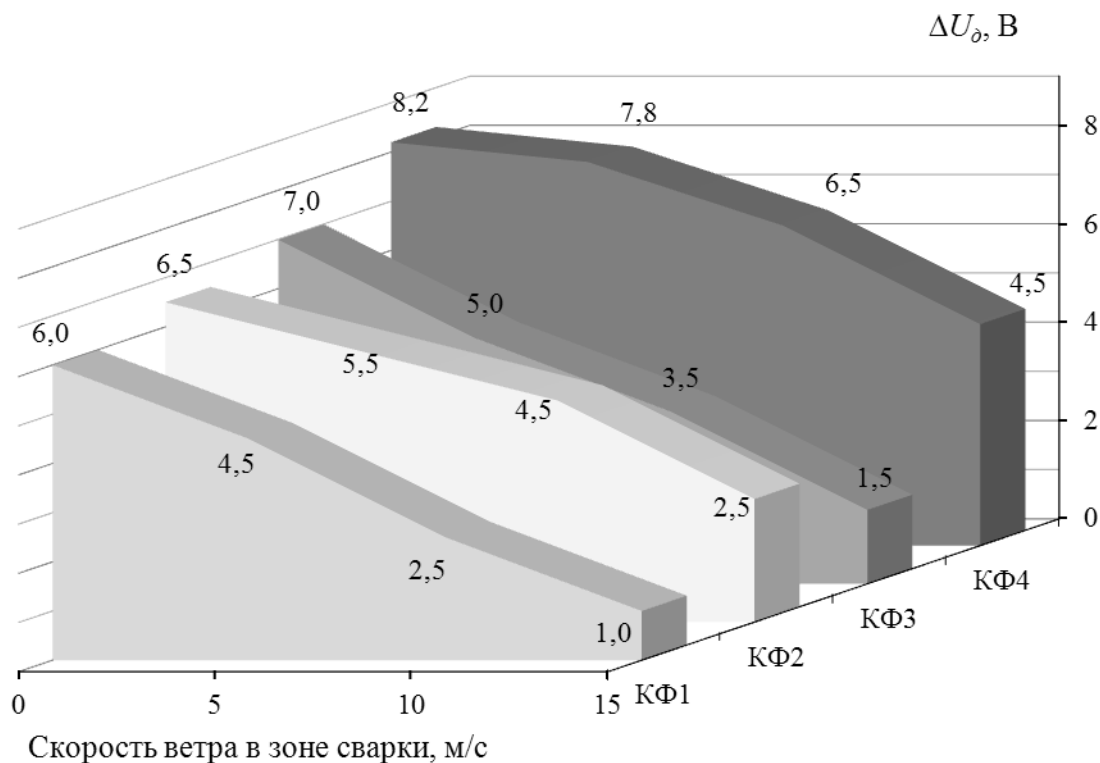


Рисунок 2.8 - Величина допустимого подовження (робочий діапазон напруг) дуги $\Delta U_\delta = U_\delta^{max} - U_\delta^{min}$ при зварюванні самозахисними порошковими дротами карбонатно-флюоритного типа під дією вітру.

Пояснення цьому можна знайти, досліджуючи теплофізичні властивості моделей порошкових осердь таких дротів при динамічному нагріванні до температур плавлення сталі (близько 1500 °C), використовуючи методи комплексного термічного аналізу, що включають термогравіметричний, диференціальний термогравіметричний аналізи та диференціальну скануючу калориметрію, а також мас-спектроскопію газів, що виділяються, [43].

Такі дослідження були проведені з використанням суміщеного термоаналізатора TGA/DSC Q600 STD (фірми «TA Instruments», США) і мас-спектрометра VG ProLab (фірми «Thermo Scientific Fisher», Великобританія). Перед проведенням досліджень були виконані відповідно до вимог інструкцій всі необхідні калібрування термоаналізатора: по температурі, тепловому потоку та сигналу маси у всьому досліджуваному інтервалі

температур. Дослідження проводилися в потоці повітря зі швидкістю 50 мл/хв. при лінійній швидкості нагрівання 10 °С/хв. Маса зразків у всіх експериментах становила ~20 мг. Для досліджень використовувалися керамічні тиглі (виготовлені з оксиду алюмінію Al_2O_3).

При термічній деструкції матеріалів сердечника виділяються гази, різні по молекулярній масі (зокрема, SiF_4 , CO_2), тому дані термогравіметричного аналізу не відображають об'єми захисних газів, що виділяються. Оскільки один моль будь-якого газу при ідентичних умовах (тиску й температурі) займає той самий об'єм, то, очевидно, доцільно оцінювати формування газового захисту при термічній деструкції компонентів сердечника порошкового дроту в мольних кількостях. При розрахунках мольної кількості захисних газів урахувалися склад порошкового осердя дротів та його частка в масі дроту. Дані температурних залежностей утворення мольних кількостей захисних газів, віднесених до маси дроту, представлені на рис. 2.9. Ці дані підтвердили, що захисні властивості композиції порошкового дроту при зварюванні у відсутності зовнішнього впливу повітряних потоків на зону зварювання прямо залежать від об'єму захисних газів, що утворюються при нагріванні й плавленні осердя. Так, кращі характеристик із чотирьох розглянутих дротів забезпечує композиція дроту КФ4, а гірші — КФ1. Але цей підхід не може пояснити різницю в захисних характеристиках композиції дротів КФ3 і КФ2 при зварюванні під впливом повітряних потоків. При швидкості повітряного потоку вище 5 м/с поволока КФ2 має більше стійкий захист до впливу вітрового потоку, чим КФ3, хоча обсяг захисних газів, що утворюються при нагріванні й плавленні сердечника дроту КФ3 вище, ніж КФ2. Процес утворення захисної атмосфери при нагріванні шихти дроту КФ3 відбувається в порівняно вузькому температурному інтервалі. З огляду на квазістаціонарність розподілу температур при нагріванні порошкового дроту на вильоті, це приводить до звуження розмірів зони генерації газів на вильоті порошкового дроту. Основна маса захисних газів для сердечника дроту КФ1 — більше 75 % (мас.) - виділяється в інтервалі температур від 600 до 800 °С, і

весь процес газоутворення завершується ще до досягнення 900 °С. Тоді як для шихти дроту КФ2 характерно більше рівномірне виділення захисних газів (CO_2 і SiF_4) у температурному інтервалі від 400 до 1400 °С, що обумовлює використанням суміші карбонатів і більшої частки плавнів у шихті. До утворення в шихтовій композиції розплаву карбонат натрію сприяє початку реакції дисоціації карбонату кальцію, а після утворення розплаву — гальмує виділення захисних газів (див. рис. 2.9).

Таким чином, одержані дані свідчать про те, що для забезпечення високої ефективності газового захисту при зварюванні самозахисними порошковими дротами важливо не тільки забезпечити генерацію великого обсягу захисних газів, але за рахунок управління процесами газовиділення забезпечити сталу генерацію захисної атмосфери на всіх етапах нагрівання й плавлення порошкового дроту, переносу електродного металу та існування зварювальної ванни.

Витрати тепла на нагрівання й плавлення порошкового осердя можуть істотно впливати на зварювально-технологічні властивості порошкового дроту [41, 42]. Оцінку таких витрат провели використовуючи дані диференціальної скануючої калориметрії на прикладі шихт порошкових дротів карбонатно-флюоритного типу, що містять карбонат літію (рис. 2.10). При нагріванні модельної шихти порошкового дроту тепло витрачається на плавлення й термічну дисоціацію Li_2CO_3 , що приводить до утворення Li_2O у шлаковій фазі та виділення в газову фазу CO_2 . При цьому сумарний витратний тепловий ефект досягає 20,5 кДж/г осердя дроту. Такі дані дозволяють оцінити тепловий баланс при нагріванні й плавленні порошкового дроту, осердя якого містить карбонат літію. Так, наприклад, при зварюванні порошковим дротом діаметром 1,6 мм, що містить 1 % (мас.) Li_2CO_3 , на режимі $U_d \sim 24$ В і $I_{зв} \sim 250$ А ($v_{n.d.} \sim 3,5$ м/хв.) близько 2,4 % підведеної енергії витрачається на нагрівання, плавлення й термічну дисоціацію компонентів осердя дроту, що призводить до помітного погіршення зварювально-технологічних властивостей — зниженню

стабільності горіння дуги, підвищеному розбризкуванню електродного металу.

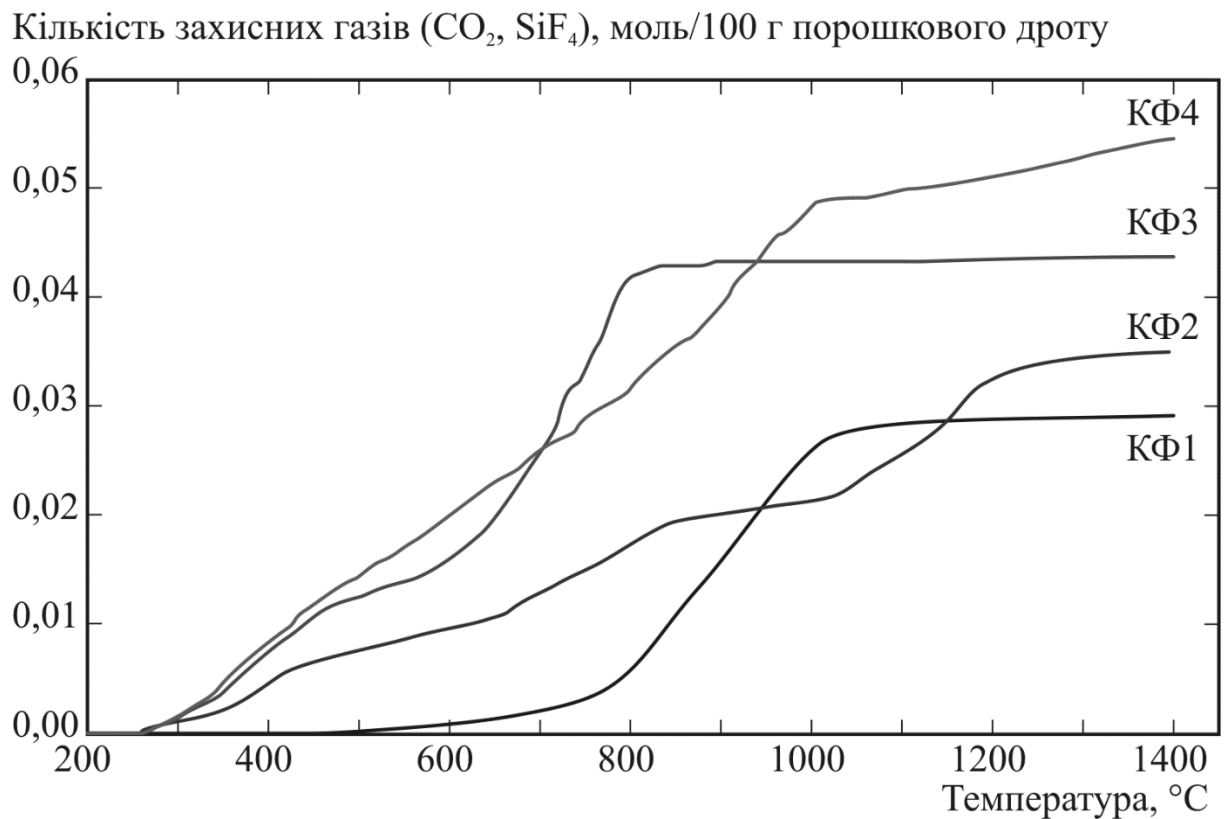


Рисунок 2.9 - Сумарна кількість газів, що утворюються при термічній деструкції порошкового осердя дротів карбонатно-флюоритного типу при неперервному нагріванні зі швидкістю $10\text{ }^{\circ}\text{C/хв}$.

Оцінку зварювально-технологічних властивостей самозахисних порошкових дротів з різним вмістом карбонату літію в порошковому осерді проводили при зварюванні дослідними порошковими дротами трубчастої конструкції діаметром 1,6 мм на постійному струмі прямої полярності. Результати статистичної обробки значень зварювального струму й напруги дуги, що були одержані за допомогою системи, що використовує швидкісні аналого-цифрові перетворювачі, для моніторингу й обробки електричних сигналів дугового зварювання із частотою 50 кГц [44], наведені в таблиці 2.2 і на рис. 2.11. Ці дані свідчать, що вміст карбонату літію в порошковому осерді дроту істотного не впливає на технологічні характеристики процесу

при його вмісті до 2 % маси дроту. Перевищення цього значення веде до підвищення розбризування електродного металу (див. таблицю 2.3).

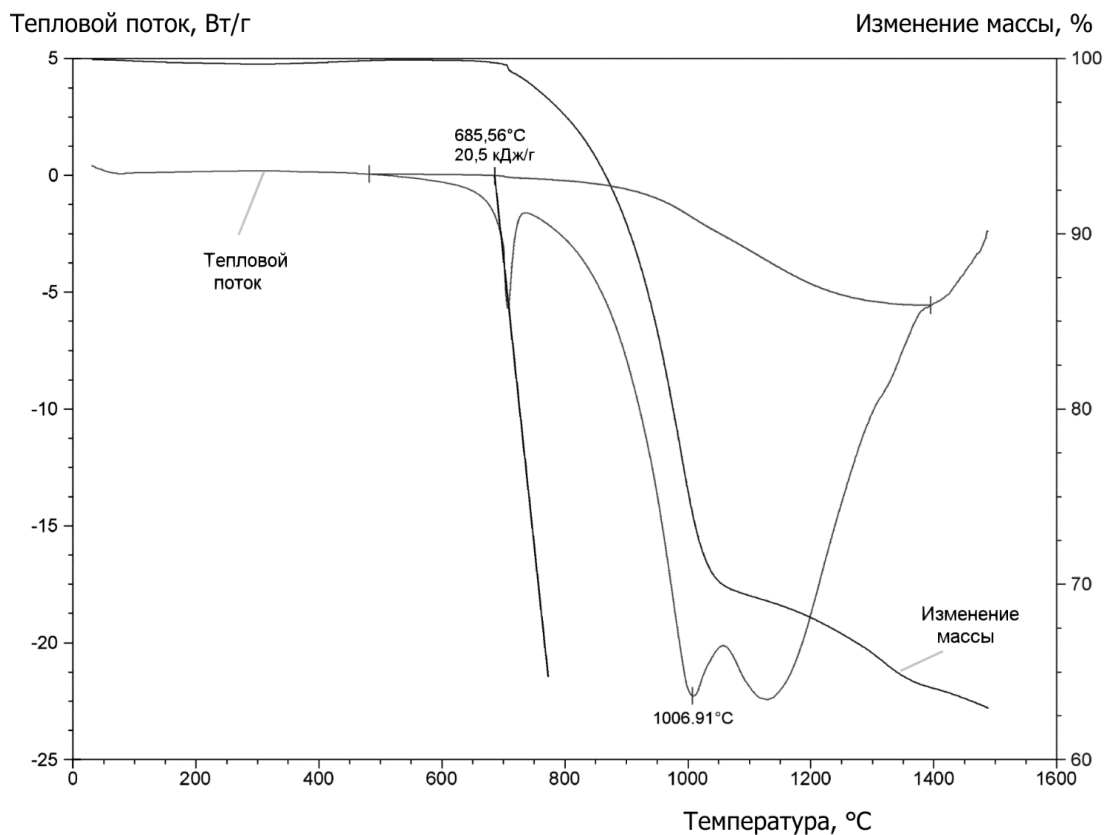


Рисунок 2.10 - Термічний аналіз одночасно методами диференційної скануючої калориметрії та термогравіметрії модельного порошкового осердя, що містить Li_2CO_3 .

У загальному випадку, введення карбонатів полегшує відділення шлакової кірки по краях металу шва. Це полегшення пояснюється впливом оксидів, що утворюються при розкладанні карбонатів, на гомогенізацію шлаків. Збільшення вмісту карбонатів у осерді дроту більше 2 % (мас.) підвищує ефективність створюваного газового захисту несуттєвим чином, однак при цьому більша частка карбонатів в осерді дроту призводить до помітних змін хімічного складу металу шва — дещо знижується вміст розкислюючих та легуючих елементів у металі шва, а вмісту кисню відповідно підвищується. Таким чином, можна зробити висновок, що вміст карбонатів в таких порошкових дротах доцільно обмежити на рівні 1 ... 2 % по масі, що дозволяє зберегти на прийнятному рівні показники, що характеризують стабільність

процесу зварювання, і при цьому забезпечити достатньо ефективний газовий захист металу й хорошу віддільність шлакової кірки.

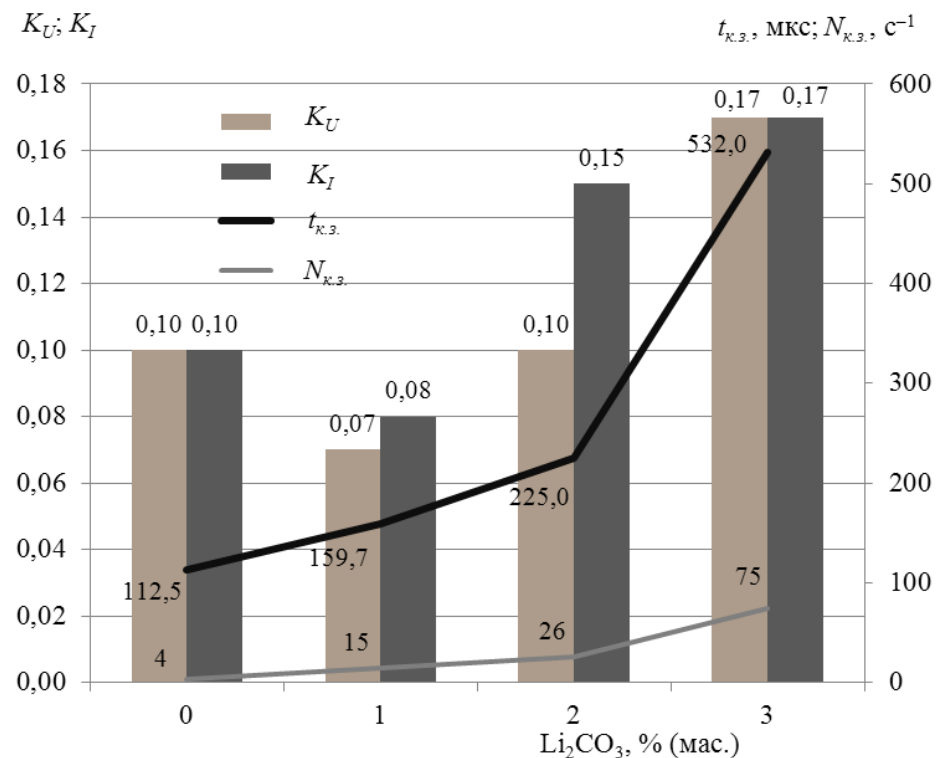


Рисунок 2.11 - Коефіцієнти варіації напруги дуги й зварювального струму, середня тривалість та частота коротких замикань при зварюванні дослідними самозахисними порошковими дротами в залежності від вмісту карбонату літію в порошковому осерді дроту.

Таблиця 2.2 - Статистичні характеристики процесу зварювання дослідними самозахисними порошковими дротами

Частка карбонату літію в дроті, % (мас.)	Напруга дуги			Зварювальний струм			Середнє значення тривалості коротких замикань, мкс	Частота коротких замикань, с^{-1}
	Середнє значення, В	Стандартне відхилення, В	Коефіцієнт варіації	Середнє значення, А	Стандартне відхилення, А	Коефіцієнт варіації		
0	23,1	2,3	0,10	289,1	28,0	0,10	112,5	4
1	21,8	1,6	0,07	296,4	24,9	0,08	159,7	15
2	22,9	2,4	0,10	283,0	36,0	0,15	225,0	26
3	22,0	3,8	0,17	294,5	49,4	0,17	532,0	75

Таблиця 2.3 - Показники технологічних властивостей порошкових дротів, що містять різну кількість карбонатів у осерді

Частка карбонату літію в дроті, % (мас.)	Напруга дуги, В	Зварювальний струм, А	Втрати металу на розбризкування, %	Віддільність шлакової кірки, бали	Наявність дефектів
0	19 ... 22 23 ... 26	220 ... 270 250 ... 300	5,1 4,8	3 3	відсутні пори
1	19 ... 22 23 ... 26	220 ... 250 250 ... 300	5,2 4,9	5 5	відсутні відсутні
2	19 ... 22 23 ... 27	250 ... 300 310 ... 350	7,2 6,9	5 5	відсутні відсутні
3	18 ... 22 22 ... 24	240 ... 290 300 ... 350	11,3 9,3	4 4	відсутні відсутні

Дослідження методами комплексного термічного аналізу фізико-хімічних властивостей порошкових матеріалів та їх сумішей, що моделюють осердя порошкових дротів, а також мас-спектроскопія газової фази при динамічному нагріванні до температури плавлення сталі, показали, що процес нагрівання сумішей порошкових матеріалів, які містять газо- і шлакоутворюючі компоненти разом з металевими порошками супроводжується протіканням реакцій дисоціації з газовиділенням, окислювання й плавлення сумішей та утворенням первинного розплаву металевої й шлакової фаз. Утворення шлакового розплаву ще на стадії нагрівання порошкового осердя до плавлення оболонки дроту й виділення газів (CO_2 , SiF_4) сприяє покращенню захисних функцій порошкових дротів при зварюванні без додаткового захисту. Теплові ефекти термохімічних реакцій (ендотермічні процеси деструкції, плавлення й екзотермічні окислювання й утворення комплексних з'єднань), які супроводжують процес нагрівання, протікають одночасно. Реалізація управління цими реакціями за рахунок зміни складу суміші дозволяє регулювати швидкість плавлення осердя, сприяє формуванню сприятливих характеристик плавлення порошкового дроту й переносу електродного металу у зварювальну ванну.

У якості компонентів порошкового дроту, які знижують температуру початку оплавлення осердя доцільно використовувати металеві порошки на основі алюмінію та його сплавів, неметалічні шлако- і газоутворюючі компоненти типу карбонатів, оксидів та фторидів лужних металів.

2.3 Розробка порошкових дротів для зварювання та наплавлення

2.3.1. Проведення розрахунків ступеню мікролегування наплавленого металу відповідно до хімічного складу та показників міцності НЛВМ сталей

Використовуючи модель формування мікроструктури зварного шва та програмне забезпечення розроблене в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України, проведені модельні дослідження впливу легування нікелем і молібденом стосовно до умов зварювання порошковим дротом [45–46].

Для числових досліджень впливу легування на співвідношення об'ємних часток у якості базового був узятий низьколегований низьковуглецевий зварний шов з вмістом легуючих елементів на рівні: $C \sim 0,1 \text{ \% (мас.)}$; $Si \sim 0,5 \text{ \% (мас.)}$; $Mn \sim 1,0 \text{ \% (мас.)}$; і неминуче присутніх домішок $S \sim 0,02 \text{ \% (мас.)}$; $P \sim 0,02 \text{ \% (мас.)}$; $[O] \sim 0,05 \text{ \% (мас.)}$; $[N] \sim 0,001 \text{ \% (мас.)}$.

На рис.2.12 і 2.13 наведено результати розрахунків співвідношення об'ємних часток основних структурних складових: алотріоморфного (АФ), видманштетового (ВФ) та голчастого фериту (ГФ) в зварному шві при додатковому легуванні нікелем та нікелем і молібденом. З діаграм (див. рис.2.12 і 2.13) видно, що введення нікелю й молібдену в металі шва сприятливо позначається на збільшенні об'ємної частки складової мікроструктури шва типу голчастого фериту.

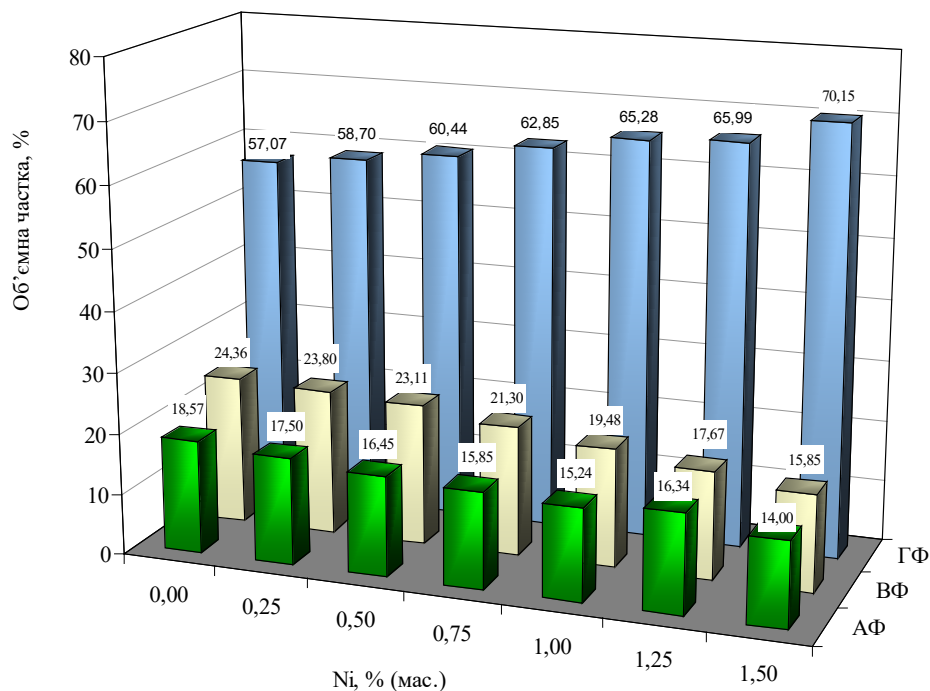


Рисунок 2.12 - Співвідношення об'ємних часток основних структурних складових: алотріоморфного (АФ), видманштетового (ВФ) та голчастого фериту (ГФ) в зварному шві при легуванні нікелем.

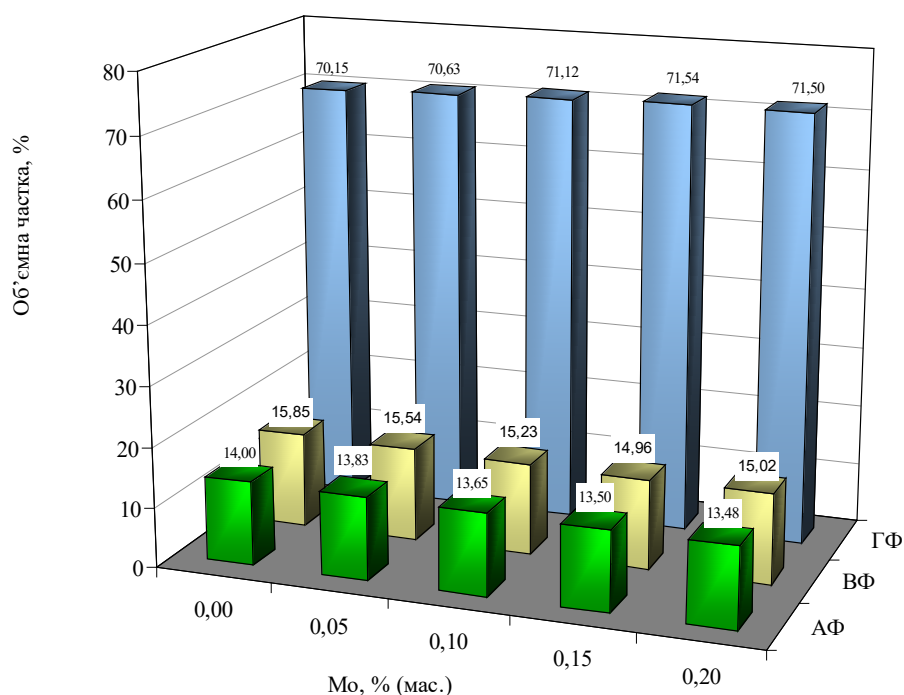


Рисунок 2.13 - Співвідношення об'ємних часток основних структурних складових: алотріоморфного (АФ), видманштетового (ВФ) та голчастого фериту (ГФ) в зварному шві при легуванні нікелем і молибденом.

Таким чином, оцінено на розрахунковому рівні вплив легування нікелем до 1,0 % (мас.) та молібденом до 0,2 % (мас.) на співвідношення основних структурних складових металу стосовно до випадку зварювання порошковим дротом з примусовим формуванням, і визначено, що сприятлива мікроструктура низьколегованого металу шва утворюється при його легуванні на рівні, % (мас.): C ~ 0,1 ... 0,15; Si ~ 0,5; Mn ~ 1,0; Ni ~ 0,5; Mo ~ 0,15.

При розробці складу осердя порошкового дроту типу ПГ-44-А3У за ДСТУ ГОСТ 26271 [40] досліджувався вплив легування на структуру й механічні властивості металу шва. Система легування на основі кремнію, марганцю, нікелю й молібдену є традиційною для багатьох зварювальних матеріалів загального призначення й забезпечує високі механічні властивості металу одношарових і багатошарових швів [41, 47–56].

З ростом вмісту нікелю та молібдену підвищуються характеристики міцності швів при високому рівні пластичних властивостей. Збільшення вмісту нікелю до 1,0 % (мас.) підвищує ударну в'язкість металу шва при низьких температурах. У зламі ударних зразків, випробуваних при низьких температурах, вища частка в'язкої складової в порівнянні зі швами, легованими тільки кремнієм і марганцем.

Такий вплив нікелю та молібдену на механічні властивості металу шва пояснюється вищою об'ємною часткою структурної складової типу голчастого фериту та більш рівномірним розподілом дрібних частинок другої фази, зміною їх форми. Крім того, нікель сприяє переміщенню дислокацій і зменшує енергію їх взаємодії з атомами укорінення. Для підвищення механічних властивостей зварного з'єднання запропоновано мікролегування металу шва титаном.

Результати досліджень впливу мікролегування титаном виявили, що структура металу шва подрібнюється за рахунок утворення у твердому розчині дисперсних карбідів і карбонітридів титану. Для запобігання утворення карбідів титану великих розмірів в металі, необхідно вводити

титан у метал шва в кількості близько 0,04 % (мас), що попереджує утворення крупних карбідів цирконію і сприяє утворенню дрібних, рівномірно розподілених карбонітридів, які служать центрами зародження зерен. Типовий вміст елементів в металі зварних швах наведено в таблиці 2.4, а вплив легування на механічні властивості металу шва наведені в таблиці 2.5 і структуру — на рис. 2.14 і 2.15.

Зварювання контрольних з'єднань виконували з використанням автомата А-1381 та зварювального джерела живлення ВС-600. Режим зварювання: $I_{зв} = 350 \dots 380$ А, $U_d = 25 \dots 26$ В, полярність — обернена («+» на електродний дріт). Основний метал контрольних стикових зварних з'єднань — сталь 09Г2 товщиною 30 мм. Зварювання стику для проведення механічних випробувань виконували відповідно вимог ДСТУ ГОСТ 26271 [40].

Таблиця 2.4 - Типовий вміст елементів в металі зварного шва, % (мас.)

Індекс порошкового дроту	C	Si	Mn	Ni	Mo	Ti
T1	0,12	0,50	1,10	—	—	0,03
T2	0,10	0,45	0,95	0,50	—	0,04
T3	0,11	0,48	1,05	0,48	0,2	0,04
T4	0,118	0,46	1,0	0,45	0,17	0,05

Примітка: S ~ 0,02; P ~ 0,02; [O] ~ 0,06; [N] ~ 0,001 % (мас.).

Таблиця 2.5 - Механічні властивості металу зварного шва

Індекс порошкового дроту	Тимчасовий опір розриву, σ_B , МПа	Границя текучості σ_T , МПа	Відносне подовження δ_5 , %	Ударна в'язкість, KCV , Дж/см ² при температурі -20 °С
T1	580	520	28,1	60
T2	610	550	27,2	75
T3	650	590	23,2	85
T3	710	620	25,7	92

Дослідження впливу легування на мікроструктуру швів проводили на зразках металу шва, наплавленого порошковим дротом «Т3» і «Т4». Зразки зварних з'єднань були протравлені в 4 %-ному розчині HNO_3 у спирті, твердість вимірювали на твердомірі М-400 фірми «Лесо», кількісний структурний аналіз проводили планіметричним методом при 500-кратному збільшенні у зв'язку із дрібно дисперсністю структури досліджуваних зразків.

Структура металу шва із системою легування C-Si-Mn-Ni-Mo («Т3») являє собою дрібно дисперсну ферито-перлітну суміш (рис. 2.14). Кількість фериту близько 73 % (об.). У структурі шва спостерігається ферит різних модифікацій — голчастий, з неупорядкованої другою фазою, поліедричний і полігональний (доевтектоїдний) у вигляді фрагментів феритних облямівок (ширина 5 - 10 мкм). Твердість металу шва $HV_{01} = 268 - 285$.

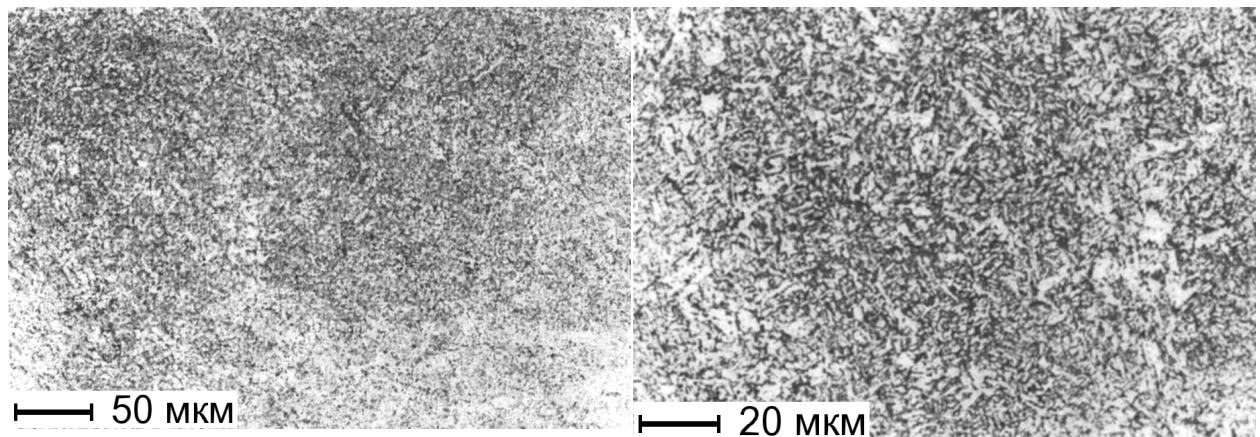


Рисунок 2.14 - Структура металу зварного шва, виконаного порошковим дротом із системою легування C-Si-Mn-Ni-Mo.

Структура металу шва із системою легування C–Si–Mn–Ni–Mo–Ti («Т4») дуже дрібнодисперсна (рис. 2.15) і являє собою ферито-перлітну суміш із явною перевагою феритної складової, об'ємна частка якої досягає $\sim 70\%$. У структурі спостерігаються різні модифікації фериту — голчастий з неупорядкованою другою фазою, доевтектоїдний уздовж границь кристалітів. Кристалічна будова в структурі шва слабо виражена, доевтектоїдний ферит виділяється у вигляді окремих фрагментів (шириною 3 - 7 мкм). Об'ємна частка полігонального фериту менша ніж у металі шва «Т3» (в зразку «Т3» — $\sim 3\%$ (об.), а в зразку «Т4» — $\sim 1,7\%$ (об.)). Твердість металу шва знаходиться в межах $HV_{01} = 221 - 245$.

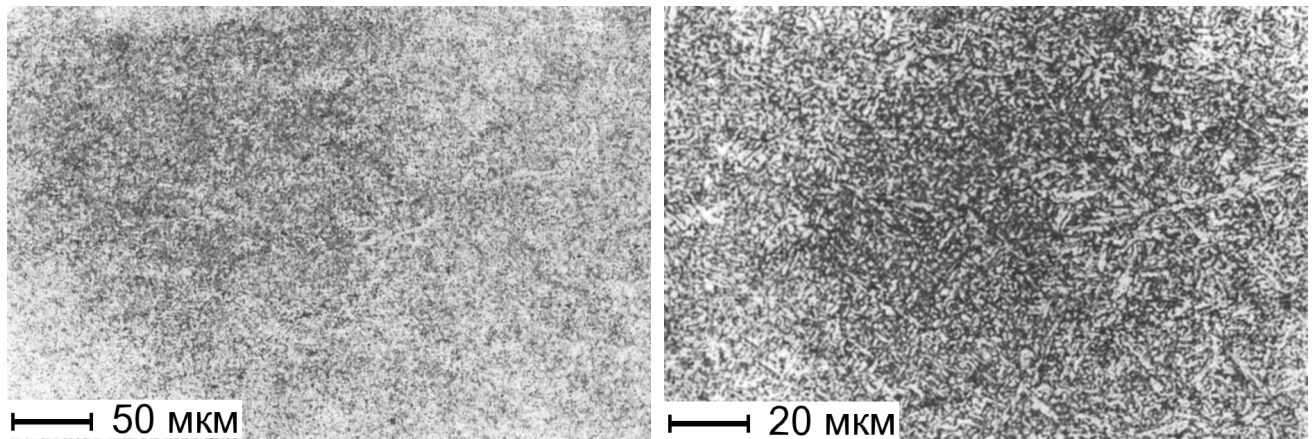


Рисунок 2.15 - Структура металу зварного шва, виконаного порошковим дротом із системою легування C–Si–Mn–Ni–Mo–Ti.

Проведені дослідження й експерименти дозволили встановити, що легування металу шва для забезпечення заданих властивостей ($\sigma_B = 700 - 720$ МПа, $\delta_5 > 22\%$, ударна в'язкість 25 - 30 Дж/см² при -40°C) необхідно підтримувати в таких межах, % (мас.): C $\sim 0,1 - 0,15$; Mn $\sim 1,0 - 1,2$; Si $\sim 0,4 - 0,5$; Ni $\sim 0,5$; Mo $\sim 0,2$; Ti $\sim 0,004$. На підставі одержаних результатів проведені розробка та оптимізація складу легуючої частини осердя порошкового дроту.

2.3.2. Дослідження впливу мікролегуювання на стан мікроструктури, формування складу неметалевих включень та визначення раціональних шляхів обробки розплавів мікролегуючими комплексами

Проведені дослідження впливу мікролегуючих елементів (ванадію, титану, цирконію) при базовому легуванні системою C–Mn–Si–Ni–Mo на регулювання мікроструктури металу зварного шва по розміру зерен і наявності плівкових та карбонітридних виділень по границях зерен з метою досягнення високих показників в'язко-пластичних характеристик при міцності по показнику границі текучості не нижче 600 МПа. експериментальні дослідження проводили при зварюванні порошковим дротом рутилового типу у захисному середовищі суміші газів Ar + CO₂ (типу M21 за стандартом ISO 14175[57]).

Встановлено, що введення карбідоутворюючі елементи, що входять до складу лігатур призводить до зменшення розмірів феритних зерен та підвищення показників міцності, однак негативно впливає на показники пластичності та в'язкості при вмісті в зварному шві кожного з елементів більше 0,05 % (мас.), що пов'язано з появою гострих виділень по границям зерен, що викликають порушення орієнтації зерен та збільшення внутрішніх напружень при феритно-бейнітному складі мікроструктури.

Для виготовлення лабораторних зразків порошкового дроту прийнято обмежити частку кожного з мікролегуючих елементів. Випробування властивостей металу зварного шва і зварного з'єднання, виконаних порошковим дротом з мікролегуювання комплексом V, Ti і Zr, дозволило досягти рівня показників границі текучості — 620 ... 650 МПа, тимчасового опору розриву — 700 - 720 МПа, відносного видовження — 20 ... 23 %, роботи ударного руйнування *KV* при температурі –20 °C — 57 ... 65 Дж, при температурі –40 °C — 41 ... 47 Дж. Одержані результати прийняті в розрахунок для оптимізації складу порошкового дроту при розробці його дослідно-промислових зразків.

2.3.3. Експериментальні дослідження характеристик міцності та в'язко-пластичних характеристик металу швів

Проведені експериментальні дослідження механічних властивостей металу зварного шва і зварних з'єднань, виконаних газозахисним порошковим дротом з рутиловий типом осердя. Показники механічних властивостей оцінювались згідно міжнародного стандарту ISO 18276 [58] для категорій міцності T 55 (границя текучості — не менше 550 МПа) та T 62 (границя текучості — не менше 620 МПа). Зварювальні процедури виконувались згідно вимог відповідних міжнародних стандартів порошковим дротом у середовищі захисного газу CO₂ та суміші газів Ar + CO₂ (типу M21 по ISO 14175 [57]). Для дослідження потрібного рівня міцності стелу зварного шва склад дослідних зразків порошкового дроту рутилового типу базувався на системі легування C–Mn–Si–Ni–Mo з мікролегуванням Zr.

У результаті проведених випробувань при зварюванні в середовищі захисного газу CO₂ були досягнуті наступні показники: $\sigma_T \sim 559$ МПа; $\sigma_B \sim 668$ МПа; $\delta \sim 24$ %; KCV при -20 °C ~ 53 Дж, що відповідає вимогам, які висуваються до порошкових дротів категорії T 55.

При зварюванні в захисному середовищі суміші газів Ar + CO₂ (типу M21 по ISO 14175 [57]) були досягнуті такі показники: $\sigma_T \sim 619$ МПа; $\sigma_B \sim 710$ МПа; $\delta \sim 23$ %; KCV при -20 °C $\sim 46,2$ Дж, що відповідає вимогам, які висуваються до порошкових дротів категорії T62 з урахуванням допусків стандарту.

Враховуючи одержані результати, внесено відповідні доповнення та зміни в тимчасову технічну документацію для уточнення вимог до хімічного складу наплавленого металу та параметрів зварювання сталей високої міцності вказаних категорій.

Доцільність досліджень систем мікролегування зумовлена необхідністю підвищення в'язко-пластичних характеристик металу зварного шва та зварних з'єднань при зварюванні дротом з метало-порошковим осердям. Недостатньо високі показники при використанні існуючих порошкових

дротів з таким осердям зумовлена високим вмістом кисню в металі зварного шва (від 0,07 до 0,09 % (мас.) при зварюванні в захисній атмосфері CO_2 та від 0,055 до 0,065 % (мас.) при зварюванні з використанням газових сумішей $\text{Ar}+\text{CO}_2$ типу M21 по ISO 14175 [57]).

Розчинений у рідкому металі кисень видаляється не повністю, частина його залишається в металі шва у вигляді неметалевих включень. Розподіл включень у металі, їх форма й склад істотно впливають на працездатність зварних конструкцій [59, 60], тому підвищення чистоти металу є актуальним завданням.

Під час зварювання у зварювальній ванні завдяки високим температурам і розвиненій поверхні взаємодіючих фаз устигають прореагувати газ, шлаки й метал. Питомі поверхні контакту, час взаємодії фаз залежать від складу зварювального матеріалу, параметрів режиму зварювання, що в остаточному підсумку впливає на вміст у металі неметалічних включень, хімічний склад і структуру.

Основною метою розкислення зварювальної ванни є гальмування при температурі твердіння металу реакції утворення окису вуглецю. Розкислення здійснюється шляхом введення в металеву ванну елементів-розкисників з основного металу, зварювального чи присадного дроту, електродного покриття тощо. Кремній та марганець можуть також надходити з шлаку внаслідок кремній- та марганець-відновлювальних процесів.

Процес розкислення відбувається при зварці одночасно з іншими процесами, як, наприклад, розчиненням та видаленням газів. Швидкому видаленню продуктів розкислення з металевої ванни сприяють її інтенсивне перемішування в процесі зварювання та спливання частинок неметалевої речовини з газовими бульбашками. Відомості про розкислення при зварці переважно стосуються випадків спільної дії кількох елементів-розкисників.

Зростання вмісту марганцю по відношенню до кремнію в металі шва знижує вміст кисню. Оптимальним є співвідношення вмісту марганцю та кремнію на рівні 2÷3. Дальше збільшення його, хоча й знижує вміст кисню,

але разом з тим веде до утворення продуктів розкислення з небажаними фізичними властивостями. Сама по собі величина співвідношення вмісту марганцю та кремнію не характеризує ступінь розкисленості металу шва.

При низьких вмістах кремнію й вуглецю в металі оксидних включень більше і вони містять відносно багато FeO , решту становлять SiO_2 та MnO . Підвищення кремнію й марганцю в металі шва помітно збільшує концентрації SiO_2 та MnO у складі включень та зменшує загальну кількість оксидних включень. Із збільшенням співвідношення вмісту Si і Mn у шві вміст SiO_2 у включеннях зростає, а MnO зменшується. Введення алюмінію в металеву ванну зменшує загальну кількість оксидних включень та збільшує в них концентрацію Al_2O_3 . При розкисленні малими кількостями алюмінію в оксидних включеннях присутній $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Збільшення вмісту алюмінію в зварювальній ванні веде до утворення включень глинозему. При наявності в металевій ванні хрому утворюються включення хромистої шпінелі $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$, тоді як продуктом розкислення ванадієм є V_2O_3 . Низькі концентрації титану в металі ведуть до утворення включень $\text{FeO} \cdot \text{Ti}_2\text{O}_3$. При вищому вмісті титану утворюється Ti_2O_3 .

У зв'язку з особливостями хімічного складу швів, зварених порошковими дротами рутилового типу, оксидні включення в них переважно складаються з SiO_2 та MnO , іноді зустрічається Al_2O_3 . Окисів заліза у включеннях мало. Наявність окисів титану в осерді рутилового типу обумовлює присутність Ti_2O_3 в складі включень.

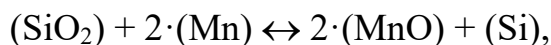
Досліджено вплив складу осердя порошкових дротів рутилового типу при зварюванні в захисному газі CO_2 на кількість, розподіл по розмірах і склад неметалевих включень, їх вплив на здатність металу протистояти зародженню й поширенню тріщин втоми, його ударну в'язкість.

Кількість неметалічних включень, їх розподіл по розмірах вивчали за допомогою кількісного телевізійного мікроскопа; при дослідженні складу включень застосовували комплексний аналіз: об'ємне електрохімічне виділення включень та їх хімічний аналіз, а також і рентгеноспектральний

аналіз заздалегідь намічених об'єктів за допомогою рентгенівського мікроаналізатора.

Дослідними дротами, сердечники яких були побудовані на базі систем $\text{TiO}_2\text{—SiO}_2$, $\text{TiO}_2\text{—SiO}_2\text{—Fe}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2\text{—CaF}_2$, зварювали багат шарові шви, із центральної частини виготовляли шліфи для досліджень неметалічних включень і зразки для випробувань металу на опірність зародженню й поширенню тріщин втоми і ударну в'язкість.

Результати досліджень неметалевих включень у металі, наплавленому порошковими дротами із осердям на базі системи $\text{TiO}_2\text{—SiO}_2$ (табл. 2.6, рис. 2.16) показують, що зі збільшенням у складі дроту вмісту SiO_2 у наплавленому металі збільшується кількість неметалічних включень. Включення мають глобулярну форму, їхні розміри змінюються в широких межах від дрібнодисперсних менше 1 мкм до включень розміром до 4 мкм. Ріст кількості включень можна пояснити інтенсивним протіканням кремній-відновлюваного процесу, що супроводжується забрудненням металу



що підтверджується даними рис. 2.16.

Склад неметалевих включень, виділених електролітичним способом, дозволяє віднести їх до залізо-марганцевих силікатів. Залежно від вмісту SiO_2 у дроті змінюється склад включень (табл. 2.7).

Якісний рентгеноспектральний аналіз включень розміром менше 1 мкм і кількісний підтверджують результати хімічного аналізу (рис. 2.17, табл. 2.8).

Вплив окисного потенціалу осердя на інтенсивність протікання окислювально-відновних процесів і кількість включень у металі досліджували на порошкових дротах із шлаковою системою на базі системи $\text{TiO}_2\text{—SiO}_2\text{—Fe}_2\text{O}_3$.

Таблиця 2.6 - Розподіл включень по розмірах залежно від вмісту SiO_2 в дроті

Вміст SiO_2 в дроті, % (мас.)	Кількість включень на 1 мм^2 , шт								
	0,40– 0,66	0,66– 0,80	0,80– 1,32	1,32– 1,76	1,76– 2,20	2,2– 2,64	2,64– 3,08	3,08– 3,52	3,52– 3,80
0,9	1800	330	265	224	62	47	35	15	6
1,8	2120	350	284	231	115	51	72	24	14
2,7	2350	372	315	315	218	94	84	32	22

Таблиця 2.7 - Хімічний склад включень, виділених електролітичним способом

Вміст Fe_2O_3 в дроті, % (мас.)	Загальна кількість включень, %	Вміст, % (мас.)						
		SiO_2	FeO	MnO	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	MgO
0,9	0,021	18,1	13,4	49,0	19,5	—	—	—
1,8	0,032	27,2	12,7	40,1	16,5	0,8	2,1	0,5
2,7	0,046	50,2	3,5	37,07	4,07	1,63	3,4	1,3

Таблиця 2.8 - Рентгеноспектральний аналіз включень у металі, наплавленому порошковими дротами, що містять SiO_2

Вміст SiO_2 в дроті, % (мас.)	Вміст елементів у включеннях, % (мас.)							
	Si	Mn	Fe	O	S	Ti	Al	Mg
0,9	12,99	18,90	40,38	23,99	0,5	1,33	1,87	0,1
1,8	18,0	25,4	25,35	25,2	0,35	1,28	6,37	0,1
2,7	25,59	33,12	2,26	28,05	0,15	1,22	9,62	0,1

Як показали дослідження, зі збільшенням вмісту Fe_2O_3 у дроті площа включень зменшується, потім починає зростати (рис. 2.18). Така зміна вмісту неметалевих включень пов'язане з гальмуванням кремній-відновлювального процесу й наступним посиленням окисних процесів у зв'язку зі збільшенням кількості кисню, що надходить у реакційну зону.

Рентгеноспектральний аналіз (табл. 2.9) показує зростання в складі включень вмісту заліза. Розміри неметалевих включень змінюються в широких межах від дрібнодисперсних 0,2 - 0,6 мкм до 2 мкм і більше (рис. 2.19).

Таблиця 2.9 - Рентгеноспектральний аналіз включень у металі, наплавленому порошковими дротами, що містять Fe_2O_3

Вміст Fe_2O_3 в дроті, % (мас.)	Вміст у включеннях, %							
	Mn	Si	Fe	O	S	Ti	Al	Mg
1,0	25	12,2	23,8	15,9	0,3	1,3	1,8	0,1
2,0	12,57	2,92	50,87	22,4	0,67	9,62	1,98	0,1

У наплавленому металі різко знизився вміст включень із розмірами більше 1 мкм, зменшилося також і кількість дрібнодисперсних включень із розмірами менш 1 мкм. Розподіл включень по розмірах наведене на рис. 2.19. Зменшується й загальна площа включень (рис. 2.20). По складу неметалеві включення відносяться до силікатів марганцю. Результати рентгеноспектрального аналізу наведені на рис. 2.21.

Відомо, що неметалічні включення є центрами зародження мікротріщини в металі, що піддається навантаженням [61]. Початкова стадія руйнування - виникнення ковзання або двійникування, тобто функціонування джерел дислокацій. У результаті біля включень утворюються їхні скупчення, при досягненні певної щільності дислокацій у металі утворюються мікротріщини [62], особливо небезпечні тріщини втоми, розвиваючись вони підготовляють умови для тендітного руйнування [63]. Вплив неметалевих включень у металі, наплавленому порошковими дротами, на опірність зародженню й поширенню тріщини втоми досліджували на зразках з гострим надрізом. Зразки піддавалися циклічному навантаженню, при досягненні певного числа циклів фіксувалася довжина тріщини. Результати випробувань (рис. 2.22), показують, що опірність зародженню й поширенню тріщин втоми значно збільшується при зменшенні кількості неметалічних включень.

На другому етапі випробувань визначали вплив неметалічних включень на величину ударної в'язкості наплавленого металу. У цьому випадку контролювали довжину тріщини, що у всіх зразках рівнялася 1 мм. Результати випробувань наведені на рис. 2.23.

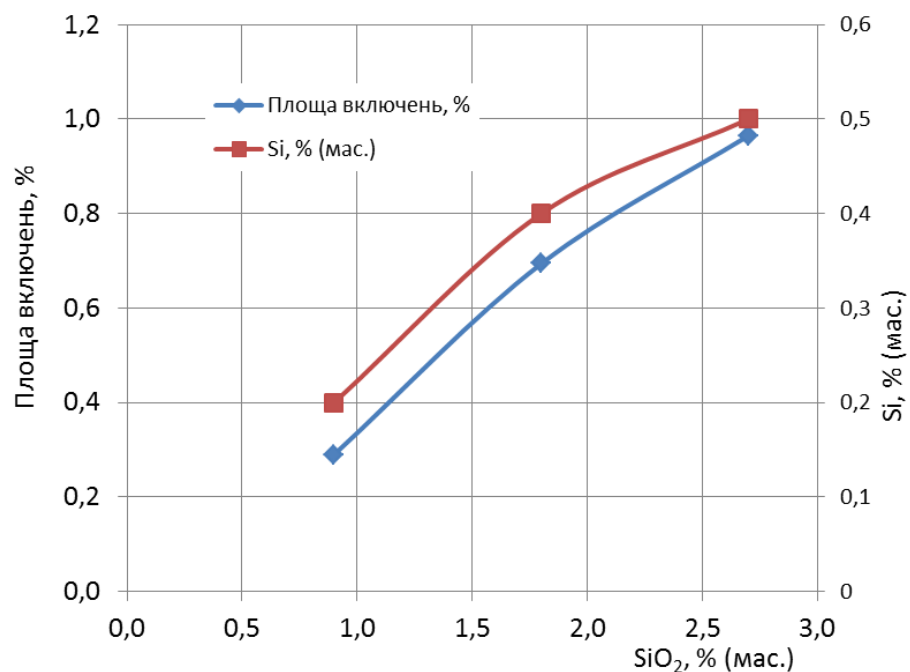
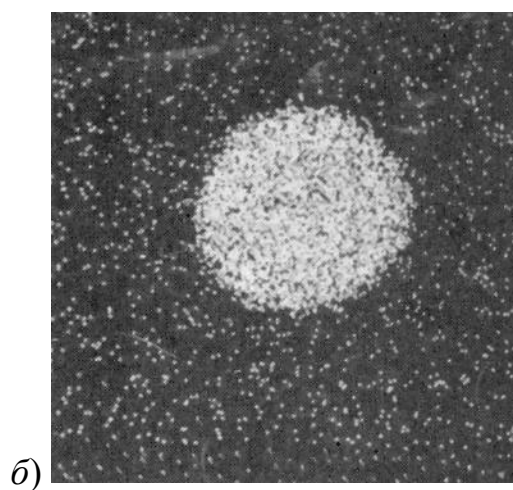
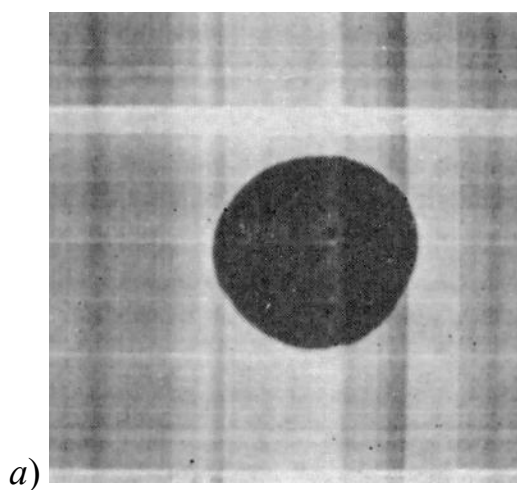


Рисунок 2.16 - Залежність площі неметалічних включень від кількості SiO_2 у осерді дроту та вплив вмісту SiO_2 у дроті на вміст Si в наплавленому металі.

Як видно з наведених даних, найнижчу ударну в'язкість має метал з найбільш високим вмістом дрібнодисперсних неметалічних включень.



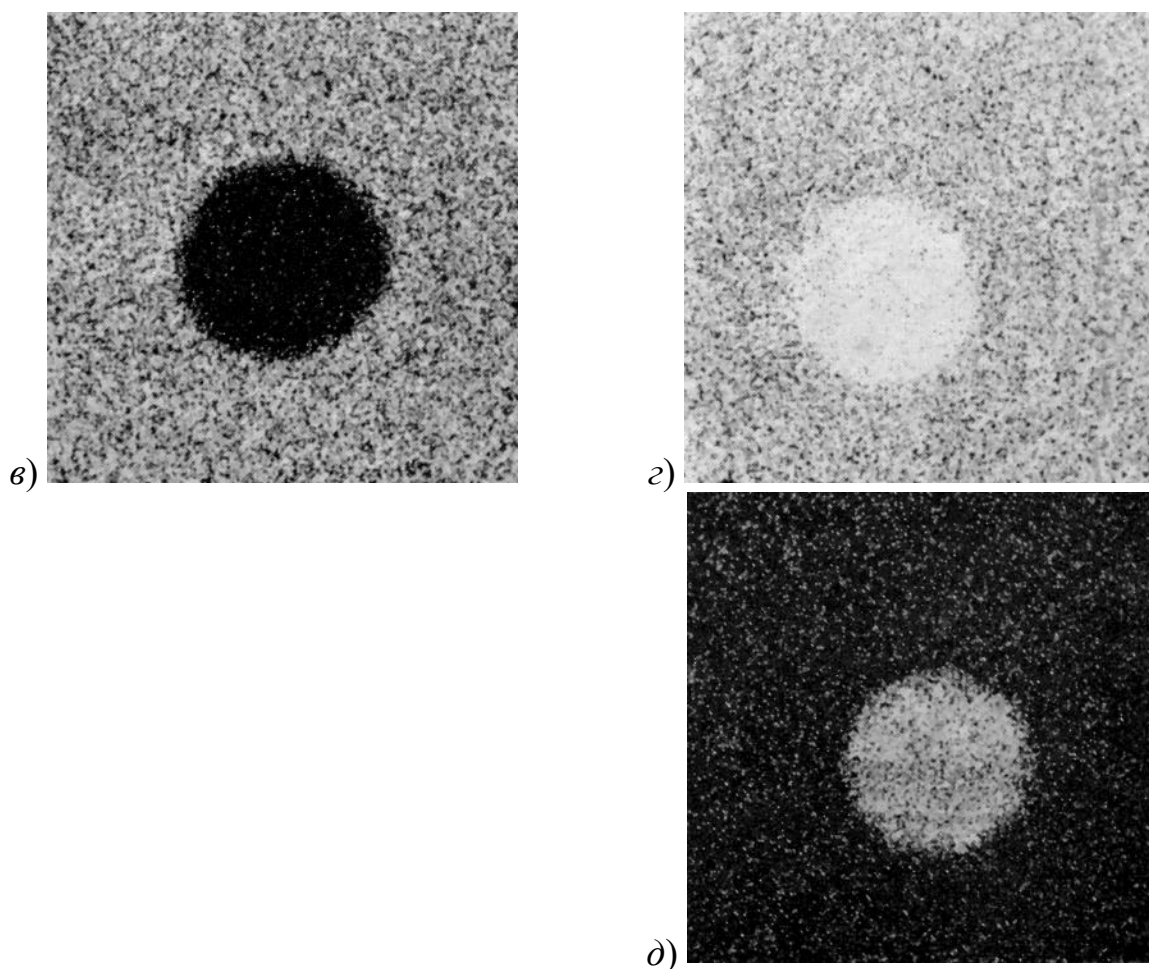


Рисунок 2.17 - Неметалеві включення в металі, наплавленням порошковим дротом, що містить 2,7 % (мас.) SiO_2 ($\times 5000$). Зображення у: *a)* вторинних електронах; *б)* рентгенівських променях; *в)* рентгенівських променях Mn; *г)* рентгенівських променях Fe; *д)* рентгенівських променях O.

Таким чином, результати досліджень дозволяють зробити такі проміжні висновки: 1) вміст включень у наплавленому металі залежить від складу сердечника порошкового дроту; 2) оксидні неметалічні включення в металі, наплавленому порошковими дротами, мають переважно ендогенне походження; 3) здатність металу пручатися зародженню й поширенню тріщин втоми і його ударна в'язкість зі збільшенням кількості включень у металі знижуються.

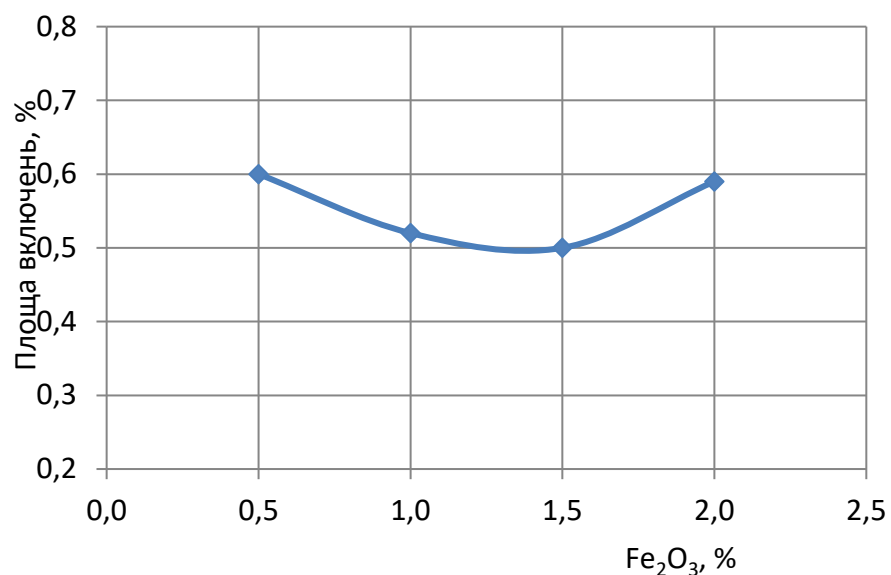


Рисунок 2.18 - Залежність площі неметалевих включень від вмісту окислів заліза в дроті

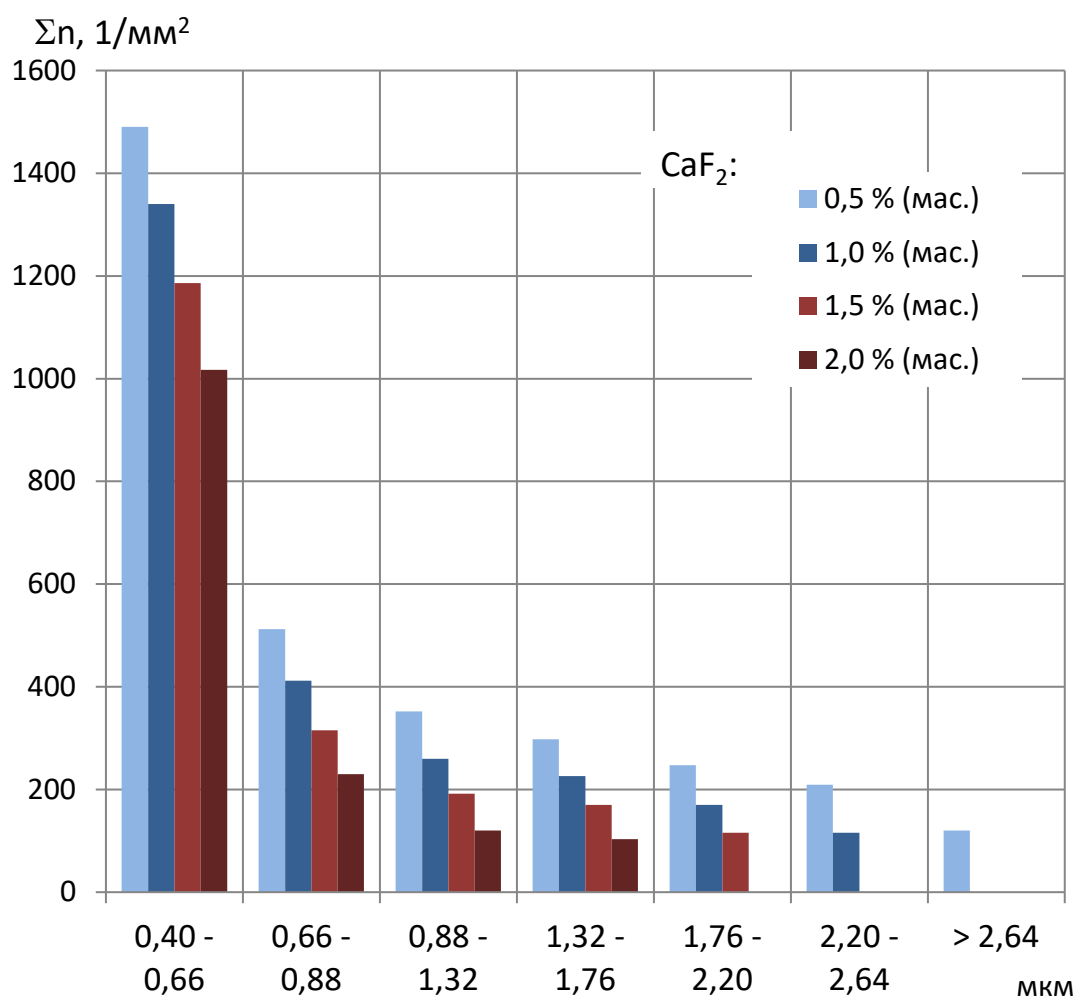


Рисунок 2.19 - Розподіл включень по розмірах у металі, наплавленому дротами, що містять CaF₂

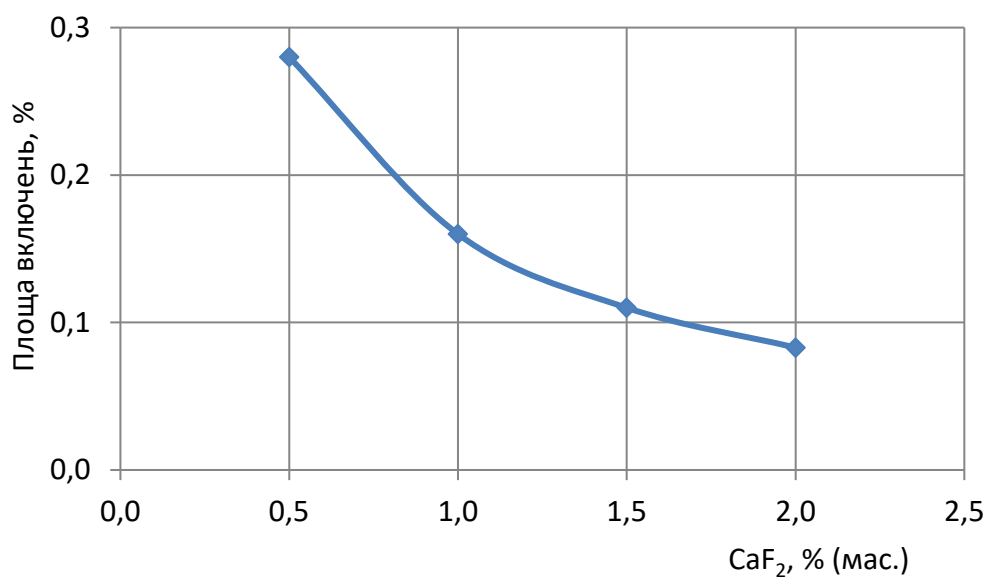
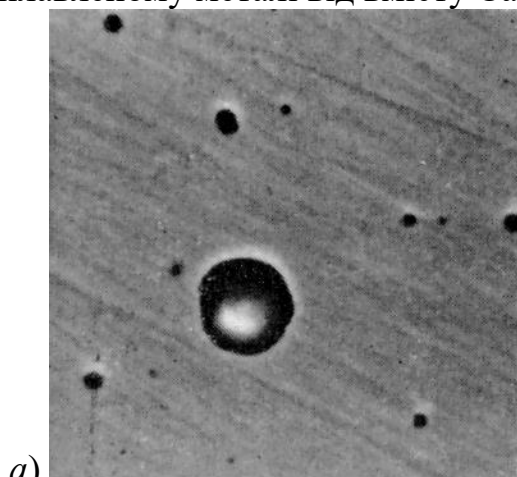
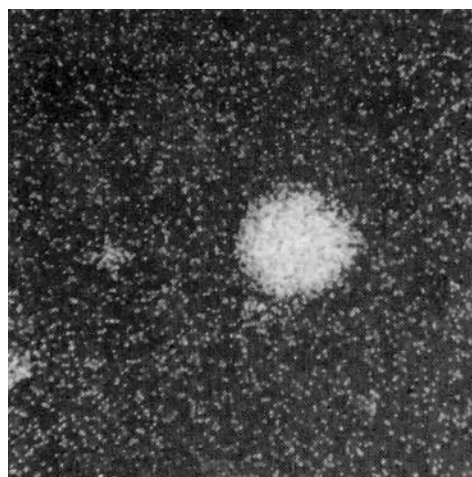


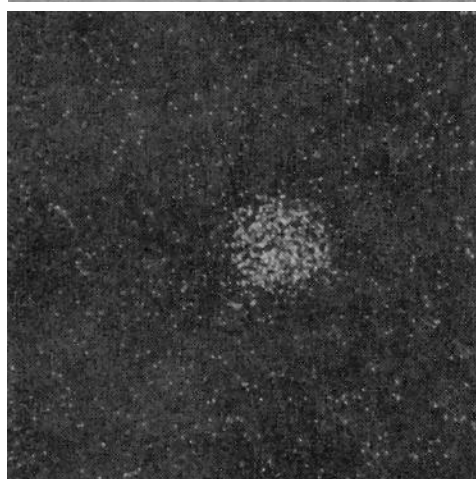
Рисунок 2.20 - Залежність площі неметалічних включень у наплавленому металі від вмісту CaF_2 у дроті



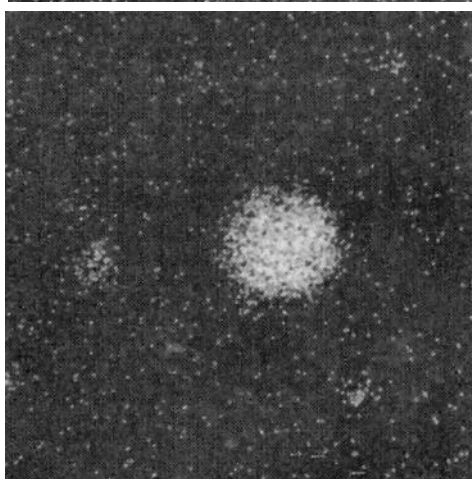
а)



б)



в)



г)

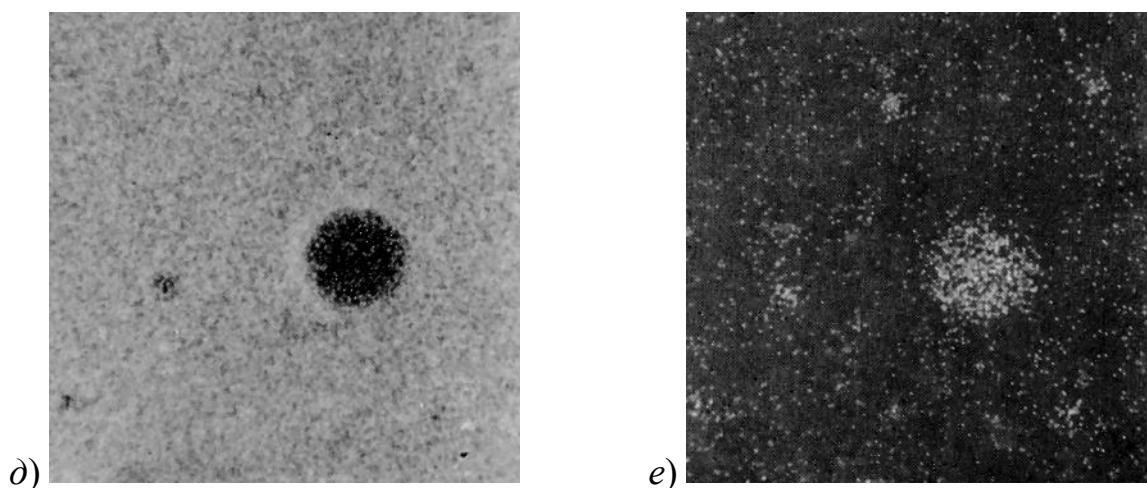


Рисунок 2.21 - Неметалеві включення в металі, наплавленому порошковим дротом, що містить 2 % (мас.) CaF_2 ($\times 5000$). Зображення у: а) вторинних електронах; б) рентгенівських променях Mn; в) рентгенівських променях O; г) рентгенівських променях Si; д) рентгенівських променях Fe; е) рентгенівських променях S.

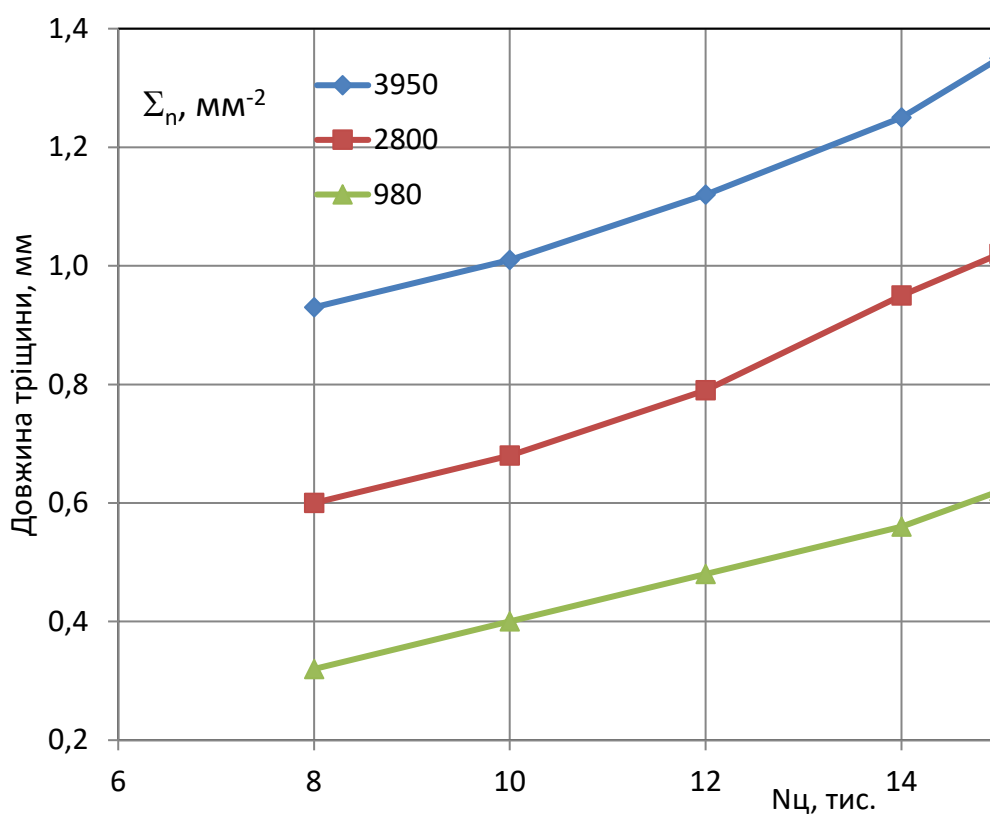


Рисунок 2.22 - Залежність довжини тріщини втоми від вмісту неметалевих включень і числа циклів

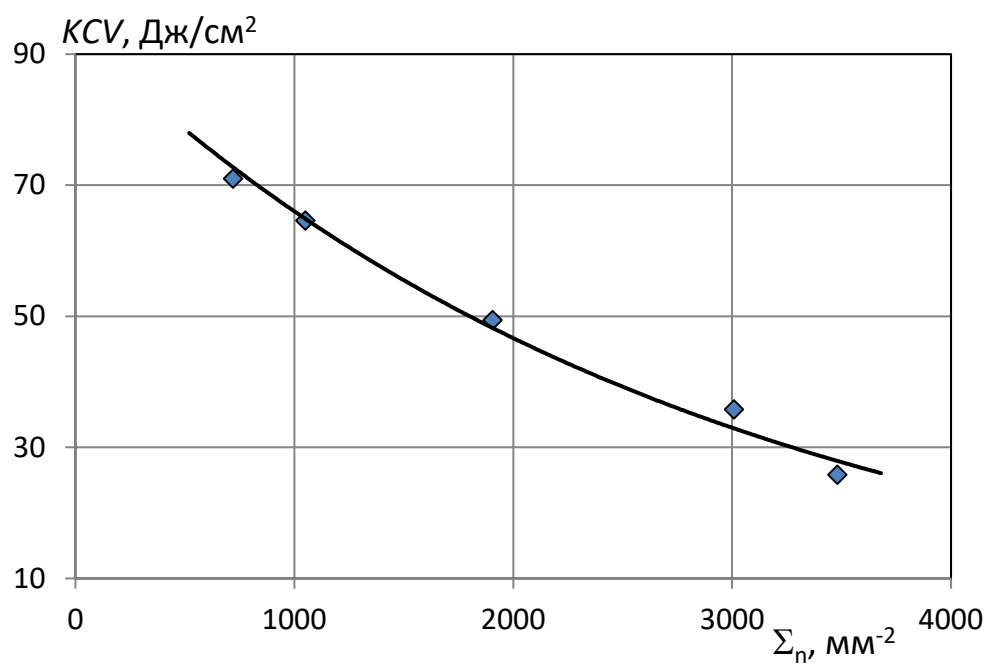


Рисунок 2.23 - Залежність ударної в'язкості наплавленого металу від вмісту в ньому неметалічних включень

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОЗРОБЛЕНИХ БАЗОВИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПОРОШКОВИХ ДРОТІВ

Дріт, як правило, виготовляють зі сталі, алюмінію, міді, цинку, їх сплавів та інших металів. Дріт одержують шляхом прокатування або протягування (волочіння) через отвори, які послідовно зменшуються. Діаметр дроту має розмір від сотих часток міліметра до десятків міліметрів.

– Поперечний переріз – геометрична форма поверхні дроту в місці його перерізання під прямим кутом до його поздовжньої осі.

Розміри, форма і властивості дроту визначені державними стандартами.

Залежно від матеріалу та призначення дріт певного типу має відповідні властивості. Наприклад, сталевий дріт, який використовуватимуть як конструкційний матеріал, має

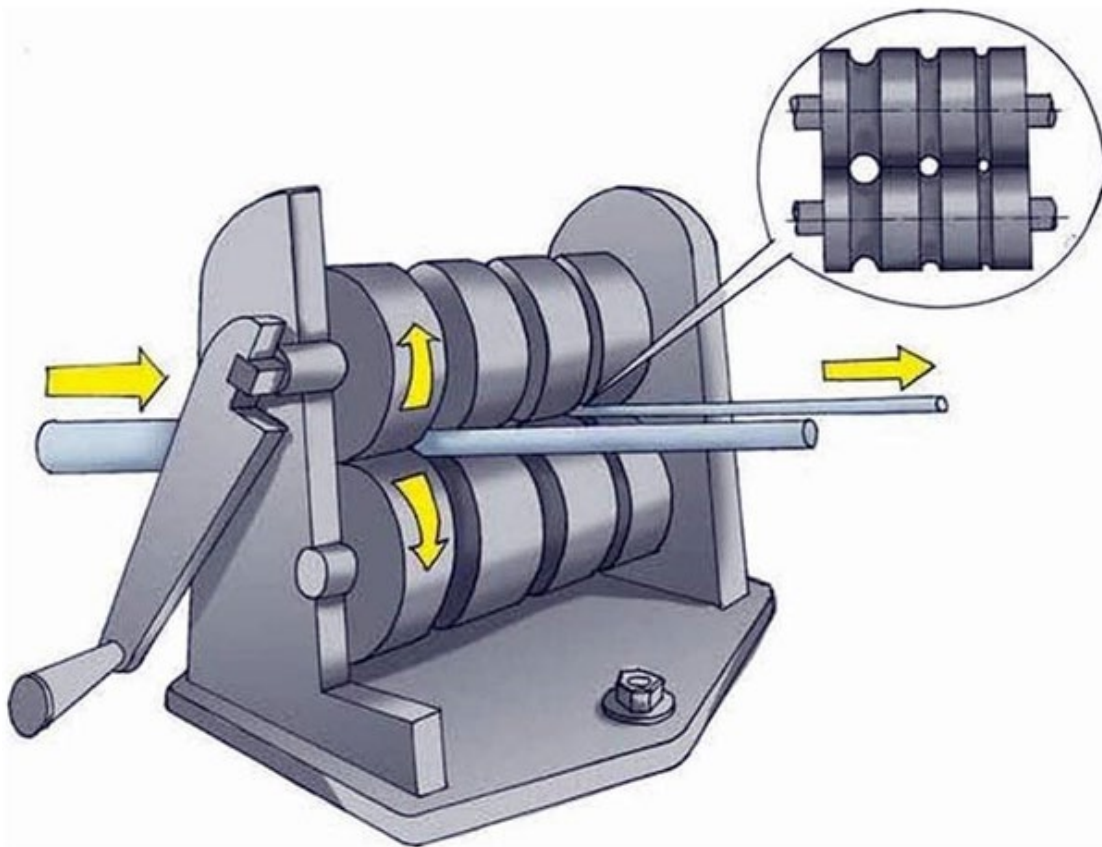


Рисунок 3.1 - Прокатування дроту

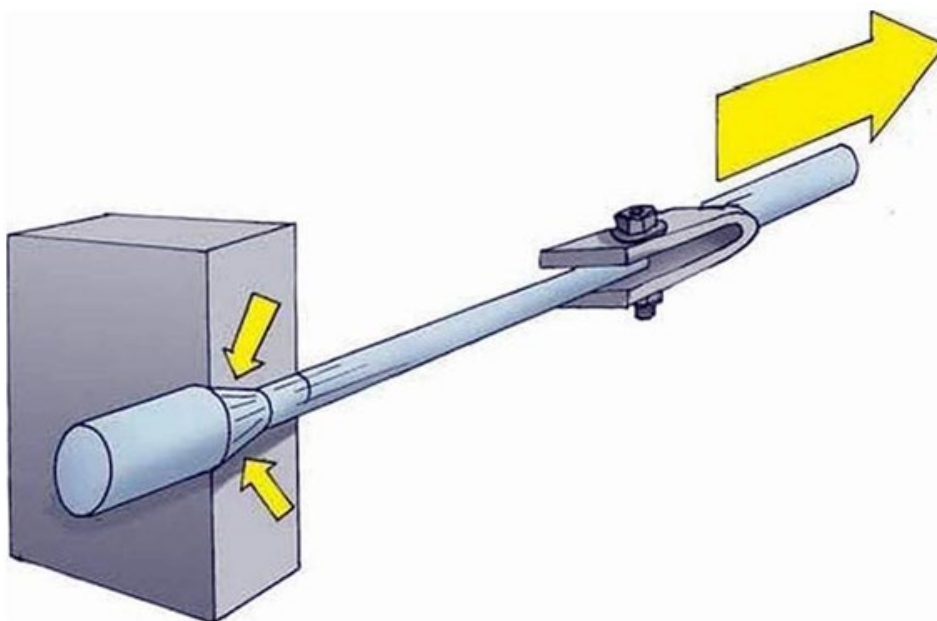


Рисунок 3.2 - Волочіння дроту через пластину з конічним отвором

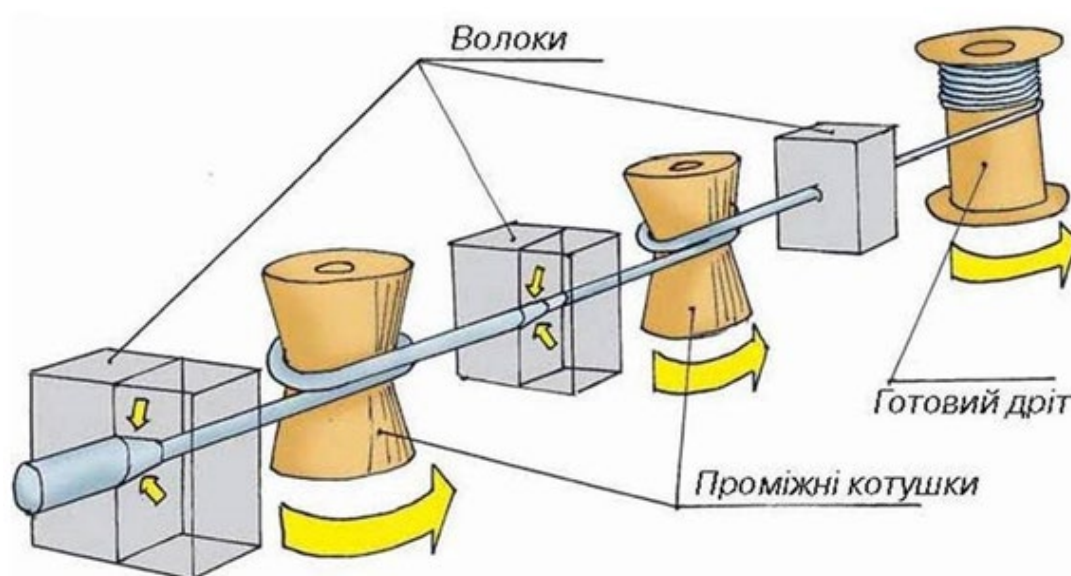


Рисунок 3.3 - Послідовне прокатування дроту через декілька волок з метою отримання потрібного діаметра

Дослідні роботи з встановлення оптимального маршруту волочіння показали, що для одержання дроту діаметром 1,2 мм із сумарною деформацією рівної 93 % і коефіцієнтом заповнення (K_3) на рівні 17 % (мас.) без проміжної термообробки, найбільш придатним є наведений в таблиці 3.1

маршрут волочіння з вказаними нижче величин частковими деформаціями на маршруті.

Таблиця 3.1 - Розроблений маршрут волочіння порошкового дроту діаметром 1,2 мм із низьковуглецевої сталюї стрічки розмірами 0,8 × 12 мм 1-ша стадія волочіння

Показник	Номер протягування					
	1	2	3	4	5	6
Діаметр волоки, мм	4,0	3,60	3,20	2,80	2,45	2,05
Величина часткової деформації, %	22	19	21	22	22	29

2-га стадія волочіння

Показник	Номер протягування					
	7	8	9	10	11	12
Діаметр волоки, мм	1,88	1,65	1,45	1,28	1,23	1,18
Величина часткової деформації, %	16	22	22	22	8	9

Роботи по налагодженню технологічних процесів виготовлення порошкового дроту проводились в умовах цеху порошкового дроту Державного підприємства «Дослідний завод зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України». Існуюча на підприємстві технологічна схема виготовлення порошкового дроту в цілому відповідає вимогам, що висуваються до виготовлення нового порошкового дроту. Схема включає знежирення сталюї стрічки, намотування її на технологічні котушки з рядною розкладкою без порушень геометрії та нарощування довжини стрічки до маси 500 кг з проміжним зварюванням кінців стрічки і термообробкою зварних з'єднань. Лінія формовки та волочіння дроту оснащена формуючим агрегатом з дозатором порошкової суміші та приладом контролю заповнення оболонки порошком. Сформована заготовка дроту надходить безпосередньо на прямоточний волочильний стан, де виконується 6-кратне волочіння дроту до заданого діаметру в одній лінії з намотувальним апаратом. Система управління забезпечує безперервний процес виготовлення порошкового дроту до повного вироблення стрічки з технологічної котушки.

Роботи по налагодженню технологічних процесів виготовлення порошкового дроту проводились в умовах цеху порошкового дроту ДП

«ДЗЗМ». Загальна технологічна схема виготовлення порошкового дроту, що реалізована на підприємстві, в цілому відповідає вимогам, що висувуються до виготовлення нового порошкового дроту.

Технічні вимоги до виготовлення розробленого порошкового дроту потребують певних змін у схемі формування та волочіння порошкового дроту. Основні зміни стосуються включення до операцій формовки заготовки додаткового роликового редукування заготовки порошкового дроту на агрегаті формування оболонки дроту з метою ущільнення замикання стику трубчатого профілю, згорнутого із сталеві стрічки, та закріплення порошкового осердя дроту від можливих зміщень. Відповідно до цього потребує коригування послідовність деформації дроту при волочінні (маршрут волочіння). Необхідність підвищити надійність подавання дроту по трактах зварювальних напівавтоматів та збереження властивостей дроту при зварюванні в монтажних умовах потребує повної заміни існуючої системи змащування дроту при волочінні за рахунок заміни волочильного мастила, що подається у вигляді мильного порошку, на систему змащування стеаратами та заключну обробку поверхні дроту протекторним покриттям.

Вихідні дані для розрахунків схем формування і волочіння базувались на результатах розробки лабораторного зразка порошкового дроту. Визначено розміри стрічки у поперечному перетині $0,8 \times 12$ мм та коефіцієнт заповнення порошковою сумішшю на рівні 14 - 16 %, що складає в середньому 95 % сформованого внутрішнього об'єму. Таке заповнення відповідає вимогам виключення можливого зміщення осердя в середині оболонки, а також випадковий вихід шихти через стик на поверхню дроту.

Оскільки калібрувальні профілі роликів, що використовуються для формовки, розраховані по так званому нейтральному діаметру кільця оболонки [64, 65], то на виході з агрегату формування заготовки дроту утворюється трубка з неповним замиканням кромek (рис. 3.4). Для усунення цього недоліку необхідно додаткова пара роликів, а, враховуючи ще

необхідність ущільнення порошкової суміші перед волочінням, то — дві пари роликів.

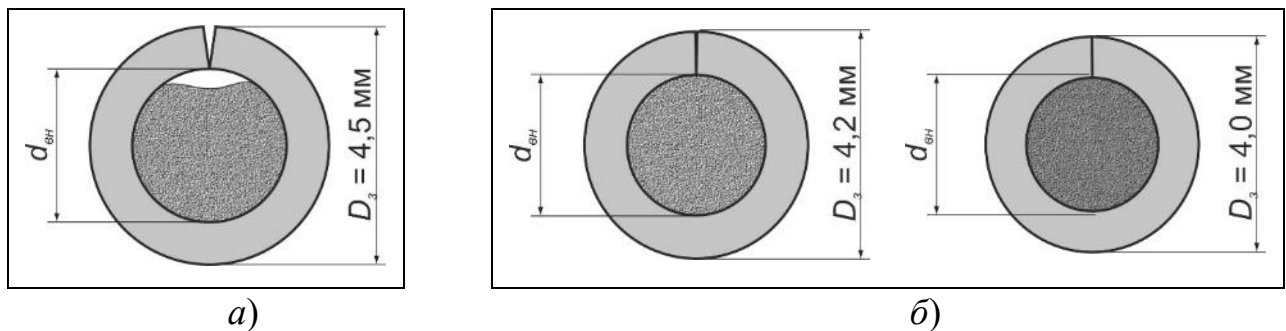


Рисунок 3.4 - Традиційна формовка заготовки порошкового дроту із стрічки товщиною 0,8 мм на виході з формувального агрегату (а) та запропоноване доформування заготовки порошкового дроту двома додатковими блоками роликового редукування (б).

Виходячи із зазначених умов були розраховані профілі формувального інструменту та виготовлені дві пари формуючих роликів (рис. 3.5), що встановлюються на додаткові дві заключні позиції агрегату формування заготовки порошкового дроту. Експериментальні випробування підтвердили доцільність використання додаткових операцій доформування та ущільнення заготовки дроту, що дає можливість зменшити діаметр заготовки дроту на виході з агрегату формування на 15 %. Для прийнятих розмірів стрічки діаметр заготовки зменшується з 4,0 - 4,2 мм до 3,4 - 3,5 мм. При цьому заготовка надходить на волочіння з ущільненим стиком кромek стрічки та у стані 100 % заповнення внутрішньої порожнини шихтою, що практично виключає флуктуації та можливі зміщення порошку по довжині дроту під впливом ривків та вібрацій, особливо на стадії набору швидкості чи зупинці лінії.

В результат побудовано більш ефективний маршрут волочіння порошкового дроту. Розрахунки, виконані для традиційної технології, показують не можливість виготовлення порошкового дроту передбаченого технічними умовами діаметру 1,6 мм за один технологічний перехід з використанням 6-кратного волочильного стану. Виходячи з можливостей

попереднього редукування дроту на агрегаті формовки, такі умови можна забезпечити. Маршрут волочіння типово розраховується, виходячи з можливості деформування композитної заготовки порошкового дроту з урахуванням механічних властивостей стрічки і технологічних умов волочіння [64, 65]. Ці умови передбачають придатність заготовки до покриття первинним шаром мастила, суцільне покриття дроту шаром мастила на проміжних операціях та підготовку до нанесення захисного шару протекторного покриття.

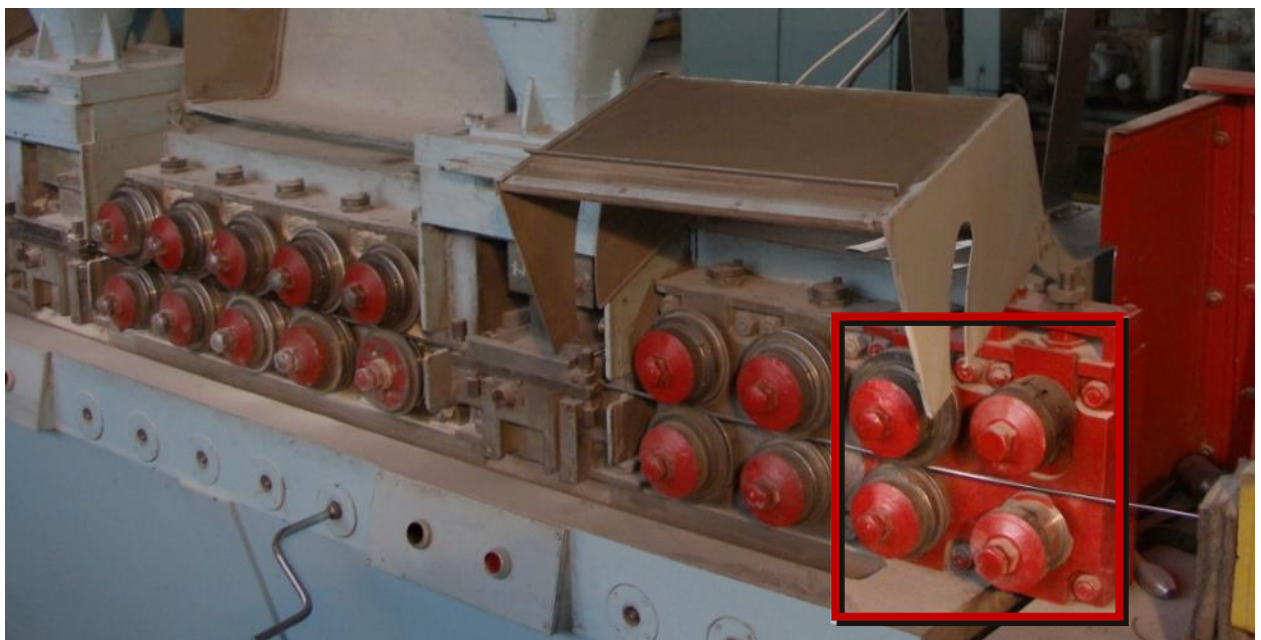


Рисунок 3.5 - Два додаткові блоки роликового редукування заготовки порошкового дроту, встановлені на агрегаті формовки.

Маршрут волочіння будується згідно практики деформування сталевих заготовок, або композитних заготовок із сталеву оболонкою з урахуванням процесу поверхневого зміцнення підчас обробки і збереження деформаційних властивостей [65]. Типовий технологічний маршрут волочіння сталевих заготовок передбачає невеликі ступеневі деформації на першому етапі для створення орієнтації структур у напрямку деформації, далі підвищення частки деформації на проміжній стадії волочіння, і досить різке зниження ступеню деформації на заключній операції волочіння з огляду

на необхідність виконання допусків щодо діаметру готової продукції, які обумовлені стандартами на дроти для зварювання ($\pm 0,10$ мм).

Розрахунки маршрутів волочіння при умові попереднього редукування заготовки порошкового дроту дозволили спроектувати технологію виготовлення порошкового дроту діаметром 1,6 мм з використанням існуючих на підприємстві прямоточних станів 6-кратного волочіння. В таблиці 3.2 наведено дані по маршруту волочіння по існуючій технології та по запропонованій, з попереднім редукуванням заготовки.

Таблиця 3.2 - Маршрути волочіння за традиційною тарозробленою технологіями виготовлення порошкового дроту діаметром 1,6 мм із низьковуглецевої сталеної стрічки розмірами $0,8 \times 12$ мм

Показники	Крок волочіння							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Традиційний технологічний маршрут								
Діаметр дроту на переділі, мм	4,1	3,5	3,1	2,7	2,3	2,0	1,75	1,59
Ступінь деформації, %	22	27	27	28	27	24	24	16
Розроблений технологічний маршрут								
Діаметр дроту на переділі, мм	3,5	3,1	2,6	2,1	1,70	1,59	—	—
Ступінь деформації, %	23	27	31	31	30	16	—	—

Експериментальне налагодження маршрутів волочіння виявило необхідність коригування розрахункового маршруту у напрямку збільшення деформації на стадії проміжного волочіння і зменшення — на стадіях первинного та заключного волочіння (калібрування). З урахуванням допуску на розмір при першому проході визнано доцільним використовувати волоку діаметром 3,5 - 3,6 мм, а при заключному — 1,59 мм, що забезпечує виготовлення дроту готового діаметру 1,6 мм без перевищення передбачених національним стандартом ДСТУ ГОСТ 26271 [40] та міжнародними

стандартами ISO 18276 [58], ISO 544 [66] та ISO 14344 [67] розмірів готового порошкового дроту.

Формування заготовки порошкового дроту з ущільненням стику виконується із стрічки, що операцію знежирення поверхні, тому спеціальної обробки поверхні для волочіння не потребує. Ущільнення стику трубки запобігає попаданню волочильного мастила в зазор стику і пошкодженню інструменту (волок) кромками стрічки. Процес волочіння порошкового дроту з наступним нанесенням протекторного покриття потребує зміни існуючої технології волочіння з використанням порошку мила на спеціальну систему мастил. Згідно існуючим положенням теорії й практики волочіння сталевих дротів така система повинна виконувати функції надійного покриття поверхні дроту на першій стадії волочіння, використання мастила «міцного» типу з антиоксидантами і дрібнозернистою фракцією порошку, що залишає після волочіння тонкий шар покриття на поверхні [68–74]. На заключному етапі волочіння дроту існує можливість нанесення протекторного покриття мастилом, що при волочінні утворює рідину (низька температура плавлення) і залишає на поверхні дроту тонкий шар проектору, що при твердіє [74].

Для вирішення цього завдання, після консультації з фахівцями з питань волочіння, біли проведені випробування 15 типів мастил, з яких обрано 3, що відповідають завданню й умовам промислового волочіння. Для первинного волочіння обрано волочильне мастило на основі стеарату кальцію (C_mH_nCOOCa) без поверхневого активних домішок (смола). На проміжному волочінні визнано доцільним використовувати порошкове мастило на основі стеарату натрію (C_mH_nCOONa) з додатком антиоксидантів, а на заключному волочінні порошкову пасту з низькою температурою плавлення. Головною діючою присадкою мастила виступає диспергований порошок тетрафторетилену (спрощено $F_2C = CF_2$), який в зону деформації оболонки дроту під впливом тиску поліконденсується (полімеризується), утворюючи на поверхні контакту з дротом суху плівку, що щільно вкриває поверхню дроту і має антифрикційні властивості. Умовами сталого утворення такої

плівки на поверхні в зоні деформації є наявність рідкого стану мастила та локальна зона підвищеного тиску (близько 0,01 МПа). При таких умовах у зоні деформації та калібрування утворюється плівка на поверхні порошкового дроту товщиною від 3 до 5 мкм. Стале утворення плівки відбувається при використанні волок з плавною зміною кривизни робочої зони та вихідної розпушування (від 12° на вході через калібруючу зону до 40° на виході).

Схема виготовлення порошкового дроту нового типу за удосконаленою технологією формовки і волочіння наведена на рис. 3.6

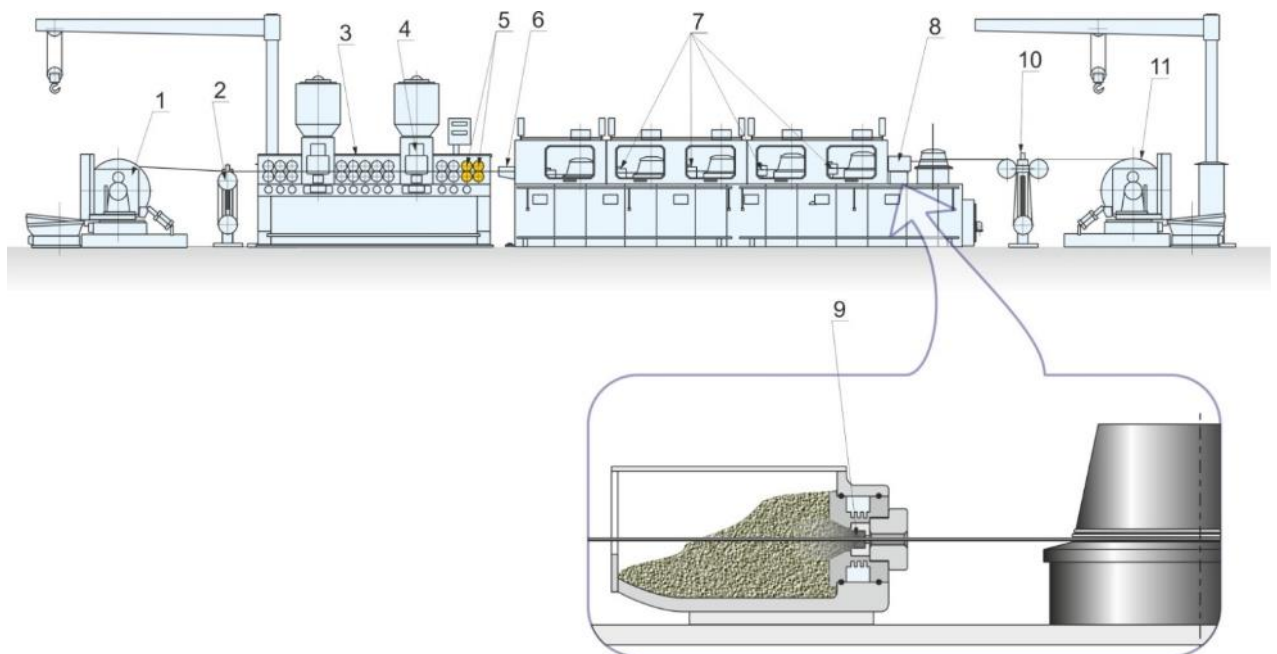


Рисунок 3.6 - Схема виготовлення порошкового дроту за удосконаленою технологією формовки і волочіння: 1 — розмотувальний пристрій для стрічки; 2 — стійка регулювання натягу та демпфірування стрічки; 3 — формуючий агрегат; 4 — дозатор шихти; 5 — група роликів для калібрування й ущільнення; 6 — блок вхідного населення мастила з волокою; 7 — блоки проміжного населення мастила з волоками; 8 — блок нанесення протекторного покриття з калібрувальною волокою; 9 — зона утворення захисної плівки; 10 — демпфер-регулятор натягу дроту; 11 — намотувальний апарат.

Налагодження технології волочіння і нанесення протекторного покриття дроту проводилось на ДП «ДЗЗМ» на лінії формовки і волочіння

порошкового дроту у складі агрегату формування ОБ1252МУ (оснащеного додатковими роликами редукування), волочильного стану ВМЕП 6/350 та намотувального апарату 1/НК виробництва АТ «Алматинський завод важкого машинобудування» при швидкості виготовлення дроту до 300 м/хв.

На Державному підприємстві «Дослідний завод зварювальних матеріалів ІЕЗ ім. Є. О. Патона» проведено комплекс робіт з удосконалювання технології виготовлення порошкового дроту і підвищення якості готової продукції, що дозволив істотно покращити характеристики застосовності таких порошкових дротів у виробничих умовах. Удосконалення торкнулися всіх стадій технологічного процесу виготовлення. У числі основних слід зазначити введення контрольованого розрахунку складу порошкової наповнювача по реальному складі сировинних матеріалів з використанням спеціального програмного забезпечення, постійний контроль вологості шихт на всіх стадіях виготовлення, удосконалювання процесів формування й заповнення профілю порошком і редукування заготівлі дроту до готового розміру з використанням двостадійної технології волочіння. Введення в технологію виготовлення зазначених заходів дозволило підвищити точність заповнення й рівномірність розподілу наповнювача дроту по всій її довжині, полегшити подавання дроту по трактах механізмів зварювальних напіваавтоматів і автоматів, забезпечити надійність контакту дроту з наконечником мундштука та точність подачі дроту в зону плавлення до точки зварювання.

Розробка програмного забезпечення для комп'ютеризованого контролю технології виготовлення порошкового дроту та забезпечення стабільності складу його осердя полягала у створенні системи розрахунку кінцевого складу порошкового дроту, базуючись на вимогах технічної документації стосовно складу порошкового дроту, а також вимогах, що висуваються до сировинних матеріалів (враховуючи допуски по хімічному складі компонентів шихти дроту та сталеві стрічки). Вихідними даними для розрахунків слугували результати приймальних випробувань уточненого

хімічного складу та інших регламентованих властивостей сировинних матеріалів, які плануються використати у якості компонентів шихти осердя порошкового дроту та сталевий стрічки для його оболонки, що дозволяє виявити потенційно проблемні компоненти дроту та скоригувати їх вміст або замінити (рис. 3.7–3.9).

Попередній розрахунок очікуваного складу порошкового дроту дозволяє прогнозувати хімічний склад наплавленого металу, враховуючи допуски технології його виготовлення. Зіставлення прогнозованого складу наплавленого металу з вимогами технічної документації дозволяє оперативно внести коригування в рецептуру шихти для забезпечення найбільш точної відповідності складу порошкового дроту вимогам технічної документації, а саме виконати коригування коефіцієнта заповнення дроту та вмісту компонентів у шихті дроту або їх замінити.

Використання системи в поточному виробництві дозволяє забезпечити виготовлення високоякісного порошкового дроту з гарантованими властивостями, що найбільш точно відповідають вимогам технічної документації.

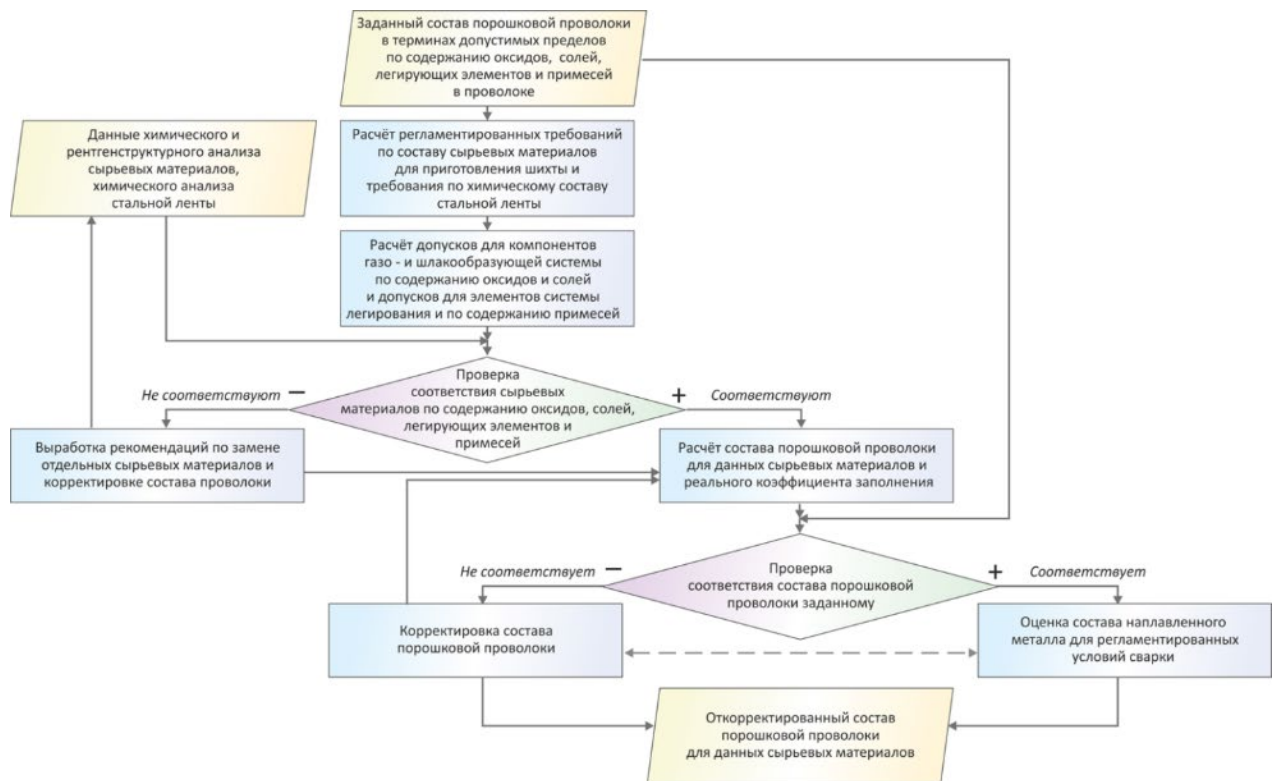


Рисунок 3.7 - Схема програми коригування складу порошкового дроту.

A		B		C		D		E		F		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S		T		U		V		W		X		Y		Z		AA		AB		AC		AD		AE		AF		AG																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
ПП-АН47 1,2 mm in diameter, 0.8x12 mm steel strip																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Technical requirements to the wire composition																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Rated filling of the wire:		15,0 %		Technology level: 1,0 % (acceptable deviation of the wire filling)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Gas and slag forming system																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
Component	% in the wire	% in the flux	CaCO ₃	MgCO ₃	Na ₂ CO ₃	K ₂ CO ₃	Li ₂ CO ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	U ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			

Рисунок 3.8 - Уведення складу дроту. Розрахунок припустимих відхилень складу, що відповідають технологічному рівню застосовуваної технології виготовлення дроту.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	ПП-АН47 1,2 mm in diameter, 0.8x12 mm steel strip																							
2	Prediction of the wire and the deposited metal compositions																							
3				Check!						Check!	Check!													
4	Gas and slag forming system																							
5	Current filling percentage	14,9	%	CaCO3	MgCO3	Na2CO3	K2CO3	Li2CO3	CaO	MgO	Na2O	K2O	TiO2	SiO2	Li2O	FeO	Fe2O3	MnO	Al2O3	ZnO	ZrO2	ides of f	CaF2	NaF
6																								
7	Current wire composition			0,003	0,000	0,000	0,000	0,099	0,000	0,000	0,004	0,004	0,000	0,072	0,000	0,000	0,001	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,142	0,0
8																								
9	Requirements to the wire composition	lower limit:		0,000	0,000	0,000	0,000	0,091	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,064	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,000	0,000	0,000	0,136	0,0
10		upper limit:		0,003	0,000	0,001	0,001	0,107	0,000	0,003	0,003	0,012	0,000	0,080	0,000	0,000	0,002	0,000	0,021	0,000	0,000	0,000	0,160	0,0
11																								
12				Check!														Check!						
13																								
14	Alloying system and admixtures																							
15	Current filling percentage	14,9	%	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Cu	Al	Mg	Nb	Zr	Co	W	B	S	P	[O]	Fe	
16																								
17	Current wire composition			0,087	2,395	0,586	2,570	0,000	0,127	0,000	0,000	0,001	0,072	0,049	0,000	0,075	0,003	0,000	0,000	0,011	0,009	0,0000	8,830	
18																								
19	Requirements to the wire composition	lower limit:		0,000	2,155	0,484	2,415	0,000	0,112	0,000	0,000	0,000	0,045	0,045	0,000	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000	7,755	
20		upper limit:		0,083	2,839	0,725	2,773	0,002	0,213	0,000	0,000	0,003	0,075	0,055	0,000	0,213	0,006	0,001	0,000	0,020	0,020	0,0896	9,668	
21																								
22																								
23	Weld metal predictions			0,059	1,700	0,463	2,557	0,000	0,127	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,009	0,011	0,0000	0,000	
24																								
25	Weld metal specifications requirements	lower limit:		0,030	1,400	0,300	2,400		0,000	0,000										0,000	0,000			
26		upper limit:		0,100	1,600	0,600	2,700		0,200	0,050										0,020	0,020			
27																								
28	Test data			0,043	2,130	0,500	2,350		0,120		0,019		0,039							0,0067	0,0110			
29																								
30																								
31	Transition factors			0,674	0,710	0,790	0,995	1,000	1,000	1,000	1,000		0,060			0,040				0,800	1,270			
32																								
33																								
34																								
35																								
36																								
37																								
38																								
39																								
40																								
41																								
42																								
43																								
44																								
45																								
46																								
47																								
48																								

Рисунок 3.9 - Прогнозування складу наплавленого металу для даного складу порошкового дроту та сировинних матеріалів.

Удосконалення технології виготовлення порошкового дроту в потоковому виробництві торкнулося роликового формування заготовки порошкового дроту з запровадження додаткового обтиснення порошкового осердя, його редукування до діаметра 1,2 мм по двостадійній схемі з використанням прямоточних станів, обробки пастами перед калібруванням для зняття волоочильного змащення та нанесення захисного покриття на поверхню дроту, а також пошарового намотування дроту виток до витка з попереднім його виправленням і забезпечення поставка готового дроту на каркасних шпулях у герметичному впакуванні.

Підвищення міцності (жорсткості) оболонки дроту за рахунок деформаційного зміцнення при двостадійному процесі волочіння з використанням у якості змащення кальцієво-натрієвих стеаратів та паст на стадії калібрування, які дозволяють одержувати тонку електропровідну захисну плівку на поверхні дроту.

Реалізовано намотування дроту на каркасні шпулі або пластикові котушки типів K300 і BS300 виток до витка та вакуумне пакуванням у плівку або фольгу для попередження зволоження сердечника дроту в процесі зберігання у відповідності міжнародними стандартами. Виконано розробку й сертифікація порошкових дротів разом із введенням у практику класифікації продукції відповідно до вимог міжнародних стандартів системи ISO.

Сформулювати вимоги до технології виготовлення порошкових дротів і стабільності якості можна наступним чином.

1. Строгий контроль складу та властивостей вихідних сировинних матеріалів (сталеві стрічки для оболонки дроту, компонентів порошкового наповнювача дроту).
2. Використання тільки Ca/Na стеаратів для змащення при волочінні заготівки порошкового дроту.
3. Обов'язковий контрольний розрахунок складу шихти відповідно реальному складу використовуваних сировинних матеріалів.
4. Обов'язкове сушіння та контроль вмісту води, прожарювання порошоків при потребі, зберігання порошоків і сумішей у термостатах, контроль вмісту води у шихті наповнювача перед виготовленням порошкового дроту.
5. Посилення вимог та жорстке їх дотримання стосовно допусків по діаметру та стану поверхні дроту.
6. Розробка та освоєння способів упакування порошкового дроту, що пройшов вихідний контроль, у пакети з алюмінієвої фольги з низьким вакуумом з дотриманням вимог стандартів ISO по впакуванню й поставкам зварювальних матеріалів.
7. Освоєння приймання продукції з використанням автоматичних установок для зварювання.

4 РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ПОДАЧІ ДРОТУ

1) Визначаємо потужність приводу механізму на підставі обраної схеми компоновки і розмірів основних його конструктивних елементів.

Потужність приводу подачі витрачається на подолання реальних опорів на шляху руху дроту, що визначається наявністю в обраній схемі тих чи інших вузлів та ділянок проходження дроту.

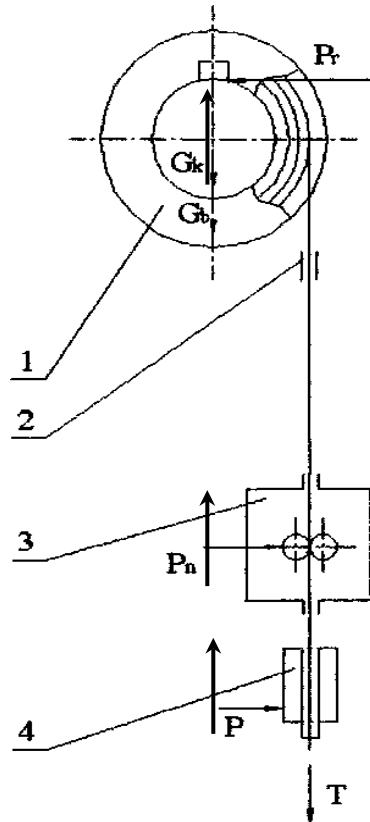


Рисунок 3.1 - Схема приводу подавання дроту

Схема дії зусиль при розрахунку роликового механізму подачі: 1-касета з бухтою дроту; 2-направляюса; 3-правильний механізм; 4-вузол подачі; 5-мундштук струмовідводу

У загальному випадку потужність приводу подачі електроду, Вт:

$$N = \frac{TV_e n_e}{\eta_m \eta_p} K_H$$

де T -тягове зусилля роликового механізму подачі, Н; V_e - найбільша швидкість подачі електродного дроту, м/с; n_e - кількість електродів; η_m, η_p - ККД відповідно роликового механізму і редуктора приводу; K_H - коефіцієнт

надійності подачі, $K_n = 1,2 - 2$.

За вказаним у завданні значенням струму наплавлення, діаметром електродного дроту (розмірами стрічки), матеріалом дроту і способом наплавлення визначають відповідно максимальну та мінімальну швидкості подачі електроду, м/с:

$$V_{e \max} = \frac{(4 * \alpha_p * I_{\max})}{\pi * d_{e \min}^2 * \gamma_e} = \frac{(4 * 13 * 380)}{3,14 * 2,6^2 * 10^{-6} * 6000 * 10^3} = 155,2 \frac{\text{м}}{\text{год}} = 0,05 \text{ м/с}$$

$$V_{e \min} = \frac{(4 * \alpha_p * I_{\min})}{\pi * d_{e \max}^2 * \gamma_e} = \frac{(4 * 13 * 320)}{3,14 * 3,2^2 * 10^{-6} * 6000 * 10^3} = 86,2 \frac{\text{м}}{\text{год}} = 0,028 \text{ м/с}$$

Де α_p - коефіцієнт розплавлення, $\alpha_p = (13... 25) \text{ г/А} \cdot \text{год.}$, де- діаметр електродного дроту, м; γ_e - густина електродного матеріалу, кг/ м³.,

„Т” визначається за формулою $T \geq T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$,

Де T_1 - опір змотування проволки з касети, Н; T_2 - опір проходження проволки крізь напрямні, Н; T_3 -опір проходженню дроту крізь правильний механізм; T_4 -опір проходженню дроту крізь вузол постачання, Н; T_5 - опір проходженню дроту крізь мундштук, Н.

Приймаємо $T_1 = 10 \text{ Н}$; T_2 обирають у межах $30...60 \text{ Н}$; вибираємо $T_2 = 30 \text{ Н}$; T_3 обирають у межах $10...60 \text{ Н}$; вибираємо $T_3 = 10 \text{ Н}$.

$$T_4 = P_n \cdot \left(\frac{f_1 \cdot d + 2 \cdot f_2 \cdot n_x}{D_x} + \frac{2 \cdot f_2 \cdot n_B}{D_B} \right) \cdot K_1 K_2 = 1000 \cdot \left(\frac{0,02 \cdot 10 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,005}{40 \cdot 10^{-3}} + \frac{2 \cdot 0,005}{50 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1 \cdot 1,2 = 546 \text{ Н}$$

де P_n -зусилля притиску дроту, (1000)Н; f_1 - коефіцієнт тертя у підшипнику притискного ролика, приймають $f_1 = 0,02...0,05$; d -середній діаметр підшипника, м, приймають $d = (10...30)10^{-3} \text{ м}$; f_2 - коефіцієнт тертя кочення ролика по дроту, приймають $f_2 = 0,005... 0,010$; D_x -діаметр притискного ролика, м; D_B -діаметр ведучого ролика, м; n_x - число холостих притискних роликів; n_B - число ведучих роликів (найчастіше n_x і n_B дорівнюють 1) K_1 - коефіцієнт, що враховує додаткові опори, які залежать

від типу роликів, приймають $K_1=1,2...1,5$; K_2 - коефіцієнт, що враховує точність виготовлення, приймають $K_2=1...1,5$.

$$T_5 = KP\mu$$

де K - коефіцієнт, що враховує нестабільність поверхні струмопідвідних контактів через часткове приварювання дроту, попадання бризок та ін., приймають $K=1,5...2$; μ - коефіцієнт тертя між дротом і контактом, для бронзових сплавів $\mu=0,12...0,23$, (вибираємо $\mu=0,2$) для латунних $\mu=0,4...0,7$, P - зусилля затиску дроту в струмопідвідному контакті, Н; приймають $P=50...200$ Н.

$$T_5=200 \cdot 2 \cdot 0,2=80\text{Н}$$

Визначаємо тягове зусилля роликового механізму подачі за формулою:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 = 10 + 30 + 10 + 546 + 80 = 676 \text{ Н}$$

ККД роликового механізму визначається як співвідношення ефективного зусилля постачання до теоретичного:

$$\eta_M = \frac{T - T_4}{T} 100\%$$

$$\eta_M = \frac{676 - 546}{676} \times 100\% = 0,192 \times 100\% = 19,2\%$$

За цими результатами знаходимо необхідну потужність двигуна.

$$N = \frac{676 \times 0,028 \times 1}{0,9 \times 0,192} \times 1 = 113 \text{ Вт}$$

Для задоволення потреби в двигуні для подачі електродного матеріалу візьмемо найближчий двигун за номіналом, потужністю 180 Вт.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою та завданням даного розділу є зменшення або в деяких випадках виключення небезпечного та шкідливого впливу процесів на працівників під час дугового наплавлення.

Під час дугового наплавлення під флюсом на працівника впливає комплекс шкідливих і небезпечних виробничих факторів: шкідливі речовини; інфрачервоне випромінювання в оптичному діапазоні; шум роботи установки; електричний струм; механізми і вироби, що рухаються.

Для забезпечення повної безпеки при наплавленні необхідно виконати комплекс заходів, що відповідають вимогам законів про охорону праці, санітарним нормам і іншим нормативним актам, інструкціям з безпеки праці. Також повинні враховуватися вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

За своїм походженням та природою дії на організм людини шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяють на фізичні, хімічні, психофізіологічні, біологічні та соціальні [75].

Процеси зварювання, наплавлення, різання, напилення, пайка металів та інші споріднені процеси супроводжуються рядом шкідливих та небезпечних виробничих наслідків [76]. Хімічні і фізичні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які виникають під час дугового наплавлення приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Шкідливі та небезпечні виробничі фактори при наплавленні під флюсом [77]:

Шкідливі виробничі фактори: - шкідливі речовини; - інфрачервоне випромінювання в оптичному діапазоні - шум.	XX XX X
Небезпечні виробничі фактори: - електричний струм; - механізми і вироби, що рухаються;	XX XX
Примітки: XX - інтенсивний фактор; X - помірний фактор.	

При наплавленні в зону дихання працюючих можуть потрапляти зварювальні аерозолі, у складі яких присутні оксиди різноманітних металів (марганцю, титану, алюмінію, заліза тощо) та інші сполуки, а також токсичні гази (оксид вуглецю, оксиди азоту, озон, фтористий водень, та ін.) [80].

Разом з пилом в виробничому середовищі розповсюджуються шкідливі гази. Під час зварювального процесу в повітря робочої зони надходить суміш газів, що утворюються в результаті термічної дисоціації газошлакоутворюючих компонентів, які входять до складу зварювальних матеріалів.

Кількість, склад і токсичність зварювальних аерозолів залежать від хімічного складу зварювальних матеріалів і виду технологічного процесу [78].

Джерелами підвищеного шуму є зварювальне устаткування. Рівень шуму, що створюється дугою, залежить від режиму наплавлення. Крім шуму, створеного дугою та зварювальним обладнанням, на працюючих можуть здійснювати вплив і інші джерела шуму, що створюються при роботі технологічного обладнання.

Причиною ураження електричним струмом може бути дотик до відкритих струмоведучих частин, які перебувають під напругою: до

знеструмлених струмоведучих частин, на яких напруга виникає випадково; до неструмоведучих частин, що виявилися під напругою через дефекти ізоляції; враження електричною дугою і кроковою напругою.

Оскільки дипломна робота описує вплив нанопорошку на наплавлений метал, то одним із небезпечних факторів є наноматеріали, і їх використання супроводжується особливими ризиками. Необхідно встановити правила техніки безпеки відповідно до ризиків із метою зниження впливу шкідливих чинників на робітника або робітників.

З точки зору охорони здоров'я робітників найнебезпечнішим видом наноматеріалів є сухі наночастинки, їх скупчення і агрегати – саме в такому вигляді і поставляється нанопорошок, застосований при дослідженнях. При виготовленні свічок для наплавлення потрібно виконувати роботу вдягнувши захисні гумові рукавиці та захисний одяг, оскільки порошок нанорозмірного діапазону може потрапляти у відкриті пори шкіри, а також носити спеціальні респіратори, що можуть затримувати настільки дрібні частинки. Хоча в даний час немає загальноприйнятого керівництва, заснованого на наукових даних, про вибір захисного одягу та інших засобів захисту від впливу наночастинок, а також мінімальна кількість інформації про ефективність існуючих засобів індивідуального захисту, близько 84% роботодавців вимагають застосування даних засобів, при роботі з наноматеріалами. На робочому місці використання захисного одягу значно знижує вплив на шкірні покриви [79]. Для поліпшення умов праці також можна постійно очищувати повітря в приміщенні.

5.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

5.2.1 Вимоги до технологічного процесу наплавлення

Організація і робочі місця облаштовані згідно ДСТУ 2456-94.

Вимоги безпеки праці до процесу дугового наплавлення мають відповідати ДСТУ 2456-94.

Обов'язковим є застосовування пристроїв місцевої витяжної вентиляції з системами очищення видаленого повітря від аерозолів та газів у відповідності з вимогами ДБН В.2.5-67:2013.

Допустимі рівні шуму встановлені ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

На обладнання, що гучно шумить, встановлюють, якщо це можливо за умовами його експлуатації, спеціальні звукоізолюючі кожухи. Зниження шуму вентиляційних установок, що обслуговують зварювальні ділянки і пости, досягається встановленням у всмоктувальних і нагнітаючих повітропроводах глушників шуму – трубчастих або пластинчастих.

Освітлення робочого місця організовано у відповідності до вимог ДБН Б.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Для безпечного переміщення механізмів необхідно перевіряти їх надійність та правильність закріплення, а також надійність кріплення ходового механізму.

5.2.2 Вимоги до системи вентиляції

Для видалення аерозолів і газів, що утворюються при наплавленні в виробничому приміщенні застосовується загальнообмінна механічна вентиляція.

При проектуванні вентиляції необхідно дотримуватися таких вимог:

- вентиляція має забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення відповідно до ГОСТ 12.1.005-88;
- загальнообмінна вентиляція має забезпечувати ефективний баланс між об'ємами повітря, що надходять до приміщення та видаляються з нього;
- система вентиляції не повинна створювати додаткових шкідливих і небезпечних факторів (переохолодження, перегрів, шум, вібрація);

- вентиляційне обладнання не повинно знижувати продуктивність праці та впливати на якість продукції;
- вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

З метою запобігання забрудненню атмосфери шкідливими речовинами, які знаходяться в вентиляційному повітрі, згідно ДСТУ ISO 14001-2006 необхідно здійснювати регулювання параметрів повітряного середовища.

5.2.3 Засоби індивідуального захисту

Захисна одежа, яка використовується під час наплавлення та супутніх процесів згідно вимогам ДСТУ EN 470-1:2003 «Одяг захисний, який використовують під час зварювання та інших високотемпературних процесах. Частина 1. Загальні вимоги».

5.2.4 Електробезпека

Зварювальне обладнання, що застосовується у технологічних процесах наплавлення використовується згідно таких нормативних документів: ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та ДНАОП 0.00-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Біля роз'ємів (затискачів) для підключення джерел живлення повинен бути напис «МЕРЕЖА!». На видному місці корпусу джерела живлення повинен бути напис «Без заземлення не вмикати!».

Вимоги до виконання захисного заземлення на всіх видах зварювального обладнання та гранично допустимі рівні напруги дотику та струмів, що можуть виникати на зварювальному обладнанні, мають відповідати ПУЕ-2017.

Зварювальне обладнання повинно бути обладнане вольтметром або сигнальною лампочкою, які вказують на наявність або відсутність напруги у зварювальному колі.

З'єднування джерел живлення зі зварювальними установками при дуговому наплавленні повинно здійснюватися кабелями. Окремі елементи

зварювального кола, а також відрізки зварювальних кабелів при нарощуванні довжини повинні бути з'єднані роз'ємними з'єднувальними муфтами. Струмopідвідні кабелі зварювального кола повинні бути по всій довжині ізолювані та захищені від механічних ушкоджень.

Зворотним проводом, що з'єднує зварювальні вироби з джерелом зварювального струму, можуть слугувати гнучкі, а також металічні шини достатнього перерізу, зварювальні плити і сама зварювана конструкція.

Кожен пульт керування повинен бути обладнаний апаратом ручного аварійного відключення. Зварювальні установки мають бути захищені запобіжниками або автоматами зі сторони мережі живлення.

Електрозварювальний інструмент не повинен мати відкритих струмоведучих частин, а рукоятки необхідно виготовляти із струмоізолюючих матеріалів. Забороняється залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент, що знаходиться під напругою.

5.3 Розрахунок інженерного рішення

Згідно з ДСТУ 2456-94 при дуговому наплавленні повинна використовуватись місцева вентиляція. В якості місцевої вентиляції будемо використовувати пересувний фільтровентиляційний агрегат «Темп-2000» (див. рис. 5.3).

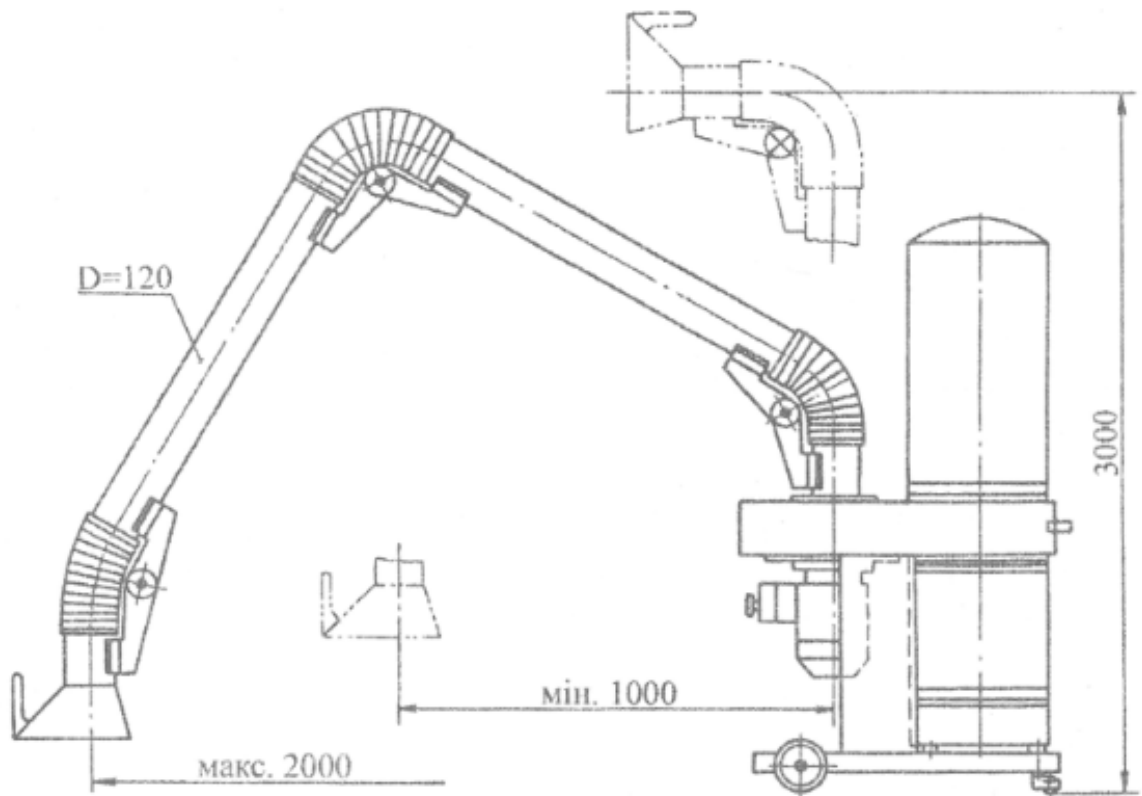


Рисунок 5.3 - Пересувний фільтровентиляційний агрегат «Темп-2000» [80].

Пересувні фільтровентиляційні агрегати дозволяють видаляти забруднене повітря з мінімальної відстані від місця наплавлення, очищати і повертати в приміщення, або викидати за його межі. Для використання пересувних фільтровентиляційних агрегатів не треба виконувати монтажні роботи, їх можна переміщувати в будь-яке місце, а всмоктуючий отвір повітропровода, шляхом його згинання і повертання завдяки спеціальному фіксуєчому механізму, можна встановлювати на мінімальній відстані від зварювальної дуги.

Пересувні фільтровентиляційні агрегати характеризуються високим ступенем уловлювання шкідливих речовин та економією енергії за рахунок рециркуляції повітря.

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією L_m , більш доцільно визначати, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального

отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. В цьому випадку:

$$L_m = 3600 F_0 V_0, \quad (5.3.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м^2 ; V_0 – швидкість всмоктування повітря в отворі відсмоктувача, м/с .

Площу F_0 визначають конструктивними особливостями технологічного обладнання та вибраного витяжного пристрою.

$$F_0 = \pi r^2, \quad (5.3.2)$$

де π – математична константа; r – радіус вхідного отвору відсмоктувача, 0.06 м .

$$F_0 = 3.14 \cdot 0.06^2 = 0.011 \text{ м}^2.$$

Значення V_0 знаходять виходячи з умов забезпечення заданої швидкості повітря V_x в зоні наплавлення на відстані X (м) від центра всмоктуючого отвору.

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, для дугового наплавлення повинна бути не більше $V_x = 0.5 \text{ м/с}$.

Для витяжних пристроїв найпростішої форми швидкість всмоктування повітря розраховується за формулою:

$$V_0 = 16 V_x (X/d)^2, \quad (5.3.3)$$

де d – діаметр вхідного отвору відсмоктувача, 0.12 м ; X – відстань від всмоктуючого отвору до зони наплавлення, 0.12 м .

$$V_0 = 8 \cdot 0.5 \cdot (0.12/0.12)^2 = 4 \text{ м/с}.$$

Об'єм повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією:

$$L_m = 3600 \cdot 0.011 \cdot 4 = 158 \text{ м}^3/\text{год}.$$

5.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До видів небезпеки, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух (усередині обладнання, будівлях або навколишньому середовищі); розрив або руйнування обладнання; викид шкідливих речовин; сполучення перелічених видів небезпеки. З метою запобігання виникненню

та ліквідації надзвичайних (аварійних) ситуацій на підприємстві має бути план локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій. Під час аналізу небезпеки підприємства (об'єкта) потрібно визначити всі можливі аварійні ситуації і аварії, в тому числі й малоймовірні, з катастрофічними наслідками, які можуть виникати на підприємстві, розглянути сценарії їхнього розвитку і оцінити наслідки. Виявлення можливостей і умов виникнення аварій має виконуватись на основі аналізу особливостей роботи як окремого обладнання (апаратів, машин тощо), так і їх групи (технологічних блоків), а також з урахуванням небезпечних властивостей речовин і матеріалів (вибухопожежонебезпечних та шкідливих), що використовуються у виробництві. При цьому слід враховувати параметри стану речовин (температура, тиск, агрегатний стан тощо) і стан обладнання, які відповідають як нормальному технологічному режиму, так і режимам, які можливі при настанні й розвитку аварії.

5.4.1 Пожежна безпека

Згідно з НАПБ Б.07.005-86 приміщення, у яких виконуються зварювальні роботи, за вимогами вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому станах, процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор та полум'я; горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

Пожежна безпека забезпечується:

- запобігання спалаху ізоляції при короткому замиканні за рахунок максимального струменевого захисту;
- запобігання утворенню горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин;
- застосування пожежної сигналізації з датчиком ИДФ-I;
- використанням вогнегасників типу ОП-10А;
- ретельним оглядом робочого місця перед початком зміни.

При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскробезпеки НАПБ Б.07.005-86.

Передбачається також аварійне зливання пожежонебезпечних рідин, аварійне втручання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилю, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, використання технічних миючих засобів

Пожежна безпека при електрозварювальних роботах повинна бути забезпечена регламентацією виконання, застосування і режиму експлуатації електрозварювальних установок та іншого обладнання, матеріалів і виробів, які можуть стати джерелами підпалення горючої середи. При веденні робіт по наплавленню в небезпечних зонах ставлять спеціальні пожежні пости. По закінченні зміни зварювальник повинен перевірити робочу зону і не залишати відкритого вогню. Слід бути обережним при переміщенні зварювальних проводів, оскільки особливу небезпеку викликає іскріння їх в місцях, віддалених від зварювальника. При виникненні полум'я в середині корпусу машини необхідно негайно залишити машину, виключити рубильник, відкрити двері машини і гасити полум'я сухим вогнегасником або сухим піском.

Приміщення обладнується засобами колективного та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та протидимного захисту.

На дільницях виробничого приміщення, де застосовується наплавлення, передбачаємо встановлення протипожежних щитів, укомплектованих вуглекислотними вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється. Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал.

Для автоматичного виявлення пожеж в виробничому приміщенні, в якому виконується наплавлення, передбачаємо наявність датчиків, які

своєчасно сповіщають про виниклу пожежу і дають команду на вмикання автоматичної системи гасіння пожежі.

5.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус зварювального агрегату необхідно відключити рубильник і довести до відома про це майстра або начальника дільниці.

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил, підклавши під голову ватник, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити постраждалому штучне дихання.

У випадку загорання зварювального агрегата необхідно відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник і службовець, що виявив пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це в пожежну охорону за телефоном 101;
- приступити до гасіння вогню пожежі наявними в цеху (на дільниці) засобами пожежогасіння (вогнегасник, пісок, пожежний кран тощо);
- викликати до місця пожежі посадових осіб (начальника цеху, дільниці).

У випадку отримання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

6 СТАРТАП-ПРОЕКТ

6.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах нанесення покриття, було розроблено технологію, що може використовуватися в різних напрямках виробництва. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап-проекту, який визначить вигоди які може отримати користувач.

Таблиця 6.1 - Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення більш продуктивного порошкового дроту з покращеними властивостями	Застосування для зварювання та дугового наплавлення	Дозволить виробництву більш якісно наплавлювати та зварювати і економніше

Отже, пропонується нова технологія, що має підвищену ефективність, просту реалізацію, та має можливість удосконалення.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

–визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

Визначено перелік наступних конкурентів:

Конкурент 1—ТОВ «Нефтегазмаш» м. Київ;

Конкурент 2— ТОВ "НПФ "ЕЛНА" м. Київ;

Таблиця 6.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів Технологія зварювання				W (слабка сторона)	N (нейтр альна сторон а)	S (сильн а сторон а)
		Мій проект	Конку- рент 1	Конку- рент 2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Використання та компанування нестандартного обладнання	+	+	-				+
2.	Розробка креслень	+	-	+				+
3.	Продуктивність	+	-	-				+

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності, а саме з таблиці 5.1.2 бачимо, що наш проект потребує менше витрат часу, більш універсальний порівняно з найближчими конкурентами та є більш продуктивним.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту. Визначено технологічну здійсненність ідеї проекту, яка передбачає аналіз таких складових в таблиці 6.3

Таблиця 6.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення більш продуктивного порошкового дроту	Інженерні та конструкторські рішення	Наявні	Доступні
2	Використання більшої кількості оснащення у порівнянні з виробниками-конкурентами	Спеціальне устаткування	Наявні	Доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що даний проект можна реалізувати тому що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначаємо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації. Це дозволяє спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, які наведені у таблиці 6.4

Таблиця 6.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	200
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Наявність креслень, представлення результатів проектування
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не змінна
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робимо висновок, що ринок є привабливим для входження.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл.6.5).

Таблиця 6.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	2	3	4	5
2	Суше тертя металу по металу	Машинобудування	- відновлення завдяки матеріалам, що мають стійкість до фрикційного зношування	- оперативність налаштування виробництва.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також виконувати роботи мають лише високо кваліфіковані робітники. Також, повинно бути своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Наявність більш дешевих технологій	Зацікавити потенційних клієнтів високою швидкістю виконання замовлення та якістю
2	Коливання курсу валют	Через зміну курсу може зрости вартість сировини, що постачається з закордону, і собівартість може значно зрости.	Необхідно слідкувати за курсом валют, а також прораховувати всі можливі ризики, щоб вартість продукту, що початково зазначена, не була меншою за собівартість.

В таблиці 6.6 ми визначили фактор загрози яка перешкоджає ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив.

Таблиця 6.7 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	2	3
1. Тип конкуренції - олігополія	Характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), обгороджених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами. Головною рисою олігополії є те, що кількість фірм така мала відносно розмірів ринку, що кожна з фірм-олігополістів визнає тісний взаємозв'язок одна з одною	Пропонувати технологію по найнижчим можливим цінам, замінити обладнання на аналогічне дешевше, спробувати домовитись з фірмами олігополістами про співпрацю.
2. За рівнем конкурентної боротьби- національний	Характеризується ринком збуту. Національний – на рівні країни в межах якої ведеться конкурентна боротьба.	Робити презентації з готовими рішеннями для підприємств, що займаються металоконструкціями, висвітлювати плюси своєї технології, брати участь у різноманітних технічних виставках.
3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	Галузева конкуренція передбачає суперництво окремих підприємств-продавців товарів та послуг у задоволенні потреб споживачів	Пропонувати адаптацію технології до різних виробничих потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Характеризується товарами одного виду	Пропонувати можливості розробки автоматизованої технології
5. За характером конкурентних переваг - нецінова	Проводиться головним чином за допомогою вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування і брендування.	Застосовувати більш досконале обладнання в своїх технологічних рішеннях
6. За інтенсивністю - не марочна	Роль торгової марки незначна, хоча самі марки можуть бути присутніми на ринку	Відповідально підходити до роботи з клієнтами, якісно виконувати свою роботу і таким чином здобути визнання на ринку

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 6.8 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ТОВ "НПФ "ЕЛНА" м. Київ			Компанії з продажу Західна Європа, Східна Європа	Технології побудовані за допомогою інших методів
Висновки :	Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів – є значною	- є можливості входу в ринок - є потенційні конкуренти	Постачальники диктують умови роботи на ринку: - відповідно оновлені технології; - дають високі гарантії.	Клієнти диктують умови роботи на ринку: - Відповідне наповнення технологічних та маршрутних карт;	Обмеження для роботи на ринку через товари-замінники

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

Таблиця 6.9 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Висока технологічність	Використання великої кількості автоматизованих комплексів
2	Висока якість	За рахунок високого рівня автоматизації
3	Висока продуктивність	Можливість одночасно розробляти замовлення на різних етапах виробництва

В таблиці 6.9 на основі аналізу проведеного в таблиці 6.8 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

Таблиця 6.10 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашою технологією						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Висока технологічність	1						+	
2	Висока якість	1						+	
3	Висока продуктивність	0						+	

Таблиця 6.11 - аналіз стартап-проекту.

Сильні сторони: - висока швидкість виконання замовлення; - відповідність конструкції всім нормативним вимогам; - продуктивність;	Слабкі сторони: - висока вартість ремонту у випадку поломки
Можливості: - попит; - корисність;	Загрози: - конкуренція

В таблиці 6.11 проводимо перелік сильних та слабких сторін. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми складали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 6.12 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	75%	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	40%	1 рік

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу

ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

6.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 6.12.1 - Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Залізниця	60%	80%	90%	10%

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію концентрованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 6.13 - Визначення базової стратегії розвитку.

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Стратегія спеціалізації	Стратегія спеціалізації	Передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти	Стратегія спеціалізації

За базову стратегію розвитку було взято стратегію спеціалізації, що передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.14).

Таблиця 6.14 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Ні	Так	Так - креслення - методи та засоби	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 6.15 - Визначення стратегії позиціонування.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Продуктивність	Стратегія спеціалізації	Застосування в наукових цілях	- Позиціонування за співвідношенням "ціна – якість" - Позиціонування за сферою застосування - Стратегія позиціонування за однією ознакою

Компанія за стратегію розвитку обрала спеціалізацію, і за цільові групи було обрано Залізницю, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 6.16 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.16 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	2	3	4
1	Технологічність	Швидкість відновлення	Комплекс є частково автоматизованим
2	Продуктивність	Використання установки в 2 зміни	Швидкість виконання замовлення

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл 6.17).

Таблиця 6.17 - Визначення меж встановлення ціни.

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	400 грн	650грн	1500грн	3000-10000 грн

В таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буде встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 6.18 - Формування системи збуту.

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає придбання дещо змінених товарів (послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його налагодження та запуск у виробництво.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту, продаж через інтернет, або на ринку

Наявність таких переваг при даному методі наплавлення дозволяє зробити висновок, що такий метод підвищення зносостійкості конкурентоспроможний, але для покращення часу на виготовлення доцільно використовувати більш продуктивні методи наплавлення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було виявлено та проведено суттєвий вплив комплексних лігатур на основі алюмінію, літію, магнію та кальцію, що вводяться в осердя порошкових дротів, на хід процесів шлако- й газоутворення та витрати тепла при нагріванні та плавленні порошкових композитів, спрямований на гомогенізацію процесів та зменшення витрат енергії на плавлення порошкового дроту і цілому, особливо для умов швидкісного плавлення, характерного для порошкових дротів малого діаметру.

Проведено експериментальне дослідження шляхів зниження потенційного вмісту водню у порошкових матеріалах та порошковому дроті. Розроблені та перевірені експериментально технологічні заходи контрольованої термічної обробки сировинних матеріалів та шихти. Запропоновано нову технологічну схему обробки поверхні порошкового дроту комплексом мастил та захисних паст у процесі волочіння, що дозволяє суттєво зменшити кількість залишкового мастила на поверхні дроту та захистити його поверхню від корозії при зберіганні до використання дроту.

Проведено комплекс робіт по удосконаленню обладнання та технології виробництва порошкового дроту малих діаметрів в умовах Державного підприємства «Дослідний завод зварювальних матеріалів ІЄЗ ім. Є. О. Патона НАН України». Виготовлені досіл дно-промислові партії порошкових дротів. Випробування порошкових дротів підтвердили відповідність вимогам технічної документації, національним та міжнародним стандартам на порошкові дрони для зварювання сталей підвищеної та високої міцності в середовищі захисних газів.

Розроблено нормативно-технологічну документацію технічні умови та інструкції по виготовленню розробленого порошкового дроту в умовах промислових виробництв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зенкин Н. А. Повышение эксплуатационных характеристик композиционных материалов путем оптимизации упрочняющих технологий: монография / Н.А. Зенкин, В.И. Копылов. - К.: Глав. спец. ред. лит. языками нац. меньшинств Украины, 2002. - 272 с.
2. Брыков М. Н. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании / М.Н. Брыков, В.Г. Ефременко, А.В. Ефременко. - Херсон: Гринь Д.С., 2014. - 364 с.
3. Попов. С. М. Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні: Навчальний посібник / С.М. Попов, Д.А. Антонюк, В.В. Нетребко. - Запоріжжя: ВАТ «Мотор Січ», 2010. - 368 с.
4. Хрущов М. М. Развитие учения об износостойкости машин и механизмов // Трение и износ. - 1998. - №1. - с. 124-135.
5. Хрущов М. М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. - М.: Наука, 1970. - 251 с. 144
6. Крагельский И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
7. Костецкий Б.М. Износостойкость деталей машин / Костецкий Б.М. - М.: ГНТИ МАШГИЗ, 1950. - 167 с.
8. Ямпольский Г.Я. Косвенная оценка абразивной износостойкости деталей по характеристикам, определяемым внедрением и царапанием индентором / Г. Я. Ямпольский, И. В. Южаков, Ю. К. Калугин и др. // Износ в машинах и методы защиты от него. - М.: Машиностроение, 1985. - С.59-60.
9. Попов В.С. Износостойкость пресформ огнеупорного производства / В.С. Попов, Н.Н. Брыков, Н.С. Дмитриченко. - М.: Metallurgy, 1971 - 156 с. 145
6. Крагельский И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
7. Костецкий Б.М. Износостойкость деталей машин / Костецкий Б.М. - М.: ГНТИ МАШГИЗ, 1950. - 167 с.

8. Ямпольский Г.Я. Косвенная оценка абразивной износостойкости деталей по характеристикам, определяемым внедрением и царапанием индентором / Г. Я. Ямпольский, И. В. Южаков, Ю. К. Калугин и др. // Износ в машинах и методы защиты от него. - М.: Машиностроение, 1985. - С.59-60.

9. Попов В.С. Износостойкость пресформ огнеупорного производства / В.С. Попов, Н.Н. Брыков, Н.С. Дмитриченко. - М.: Металлургия, 1971 - 156 с. 145

10. Попов В. С. Металловедческие аспекты износостойкости сталей и сплавов / В.С. Попов, Н.Н. Брыков. - Запорожье: В.П.К. «Запоріжжя», 1996. - 180 с.

11. Долговечность оборудования огнеупорного производства / [Попов В.С., Брыков Н.Н., Дмитриченко Н.С., Приступа П.Г.]. — М.: Металлургия, 1978. — 232с.

12. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / Под ред. В.С. Попова. — Запорожье.: Изд-во ОАО «Мотор Сич», 2000. — 368с.

13. Виноградов В.Н. Износостойкость сталей и сплавов / В. Н. Виноградов, Г. М. Сорокин - М.: Нефть и газ, 1994. - 415 с.

14. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования / Тылкин М.А. - М.: Металлургия, 1971.

15. Виноградов В.Н. Долговечность буровых долот / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, А.Ф. Пашков и др. - М.: Недра, 1977. - 256 с.

16. Тихонович В. И. Основы повышения износостойкости литых сплавов / В. И. Тихонович Сборник научных трудов. Литые износостойкие материалы. ИПЛ АН УССР, 1978. — 140с.

17. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. - М.: Машиностроение, 1987. - 192 с.

18. Мазель Ю. А. Классификация сплавов на основе железа для восстановительной и упрочняющей наплавки/ Ю.А. Мазель, Ю.В. Кусков, Г.Н. Полищук // Сварочное производство. 1999. - № 4. - с. 35-38.

19. Костиков В. И. Плазменные покрытия / В.И. Костиков, Ю.А. Шестерин. - М.: Машиностроение, 1978. - 160 с.
20. Петров А. В. Плазменная обработка материалов / А.В. Петров // Сборник научных трудов НИАТ - 1973. - с. 162-167 146
21. Вайнерман А.Е. Плазменная наплавка металлов / А.Е. Вайнерман, М.Х. Шоршоров, В.Д. Спиридонов, В.С. Новосадов. - Л: Машиностроение, 1969. - 191 с.
22. Спиридонов И.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / [И.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Куприянов и др.]; под ред. В.И. Гагина. - Минск: Высшая школа, 1988. - 154 с.
23. Фруммин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка / И.И. Фруммин. - Харьков: Metallurgizdat, 1961. - 421 с.
24. Мудрук А. С. Повышение долговечности машин и оборудования, работающих в условиях интенсивного износа / А.С. Мудрук, Н.И. Денисенко, М.В. Киндрачук. - К.: УкрНИИИНТИ, 1990. - 44 с.
25. Гладченко А. Н. Обеспечение износостойкости в машиностроении / А.Н. Гладченко, Н.А. Зенкин, И.В. Шевеля и др. - К.: ИСДО, 1996. - 115 с.
26. Старосельский А. А. Долговечность трущихся деталей машин / А.А. Старосельский, Д.Н. Гаркунов. - М.: Машиностроение, 1967. - 395 с.
27. Суслов А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей/А.Г. Суслов. - М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
28. Рябцев И. А. Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев. - К.: Экотехнология, 1999. - 62 с.
29. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И.А. Рябцев. - К.: Экотехнология, 2004. - 160 с.
30. Кусков Ю.М. Электрошлаковая наплавка / Ю.М. Кусков, В.Н. Скороходов, И.А. Рябцев, И.С. Сарычев. - М.: Наука и технологии, 2001. – 179с.

31. Кузнецов В.Д. Износостойкость наплавленного металла типа углеродистых и хромомарганцевых сталей в условиях сухого трения металла по металлу / В.Д. Кузнецов, Д.В. Степанов, В.А. Маковей, Я.П. Черняк // Автоматическая сварка. - 2013. - №6. - с. 44-47. 147

32. Матеріали зварювальні. Зварювальні матеріали для наплавлення (EN 14700: 2005 IDT): ДСТУ EN 14700: 2008. – [Чинний від 2011-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. — (Нац. стандарт України).

33. Рябцев И. И. Гармонизация стандартов на наплавочные материалы в соответствии с требованиями европейского стандарта EN 14700 «Сварочные материалы - Сварочные материалы для наплавки» / И.А. Рябцев, Н.А. Проценко // Сварщик, 2007. - № 6. - С. 30-36.

34. Рама Р.С. Основы силовой электроники / Перев. с англ. Масалова В.В. – Москва: Техносфера, 2006. – 288 с.

35. Малешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. — Москва: Техносфера, 2005. — 632с.

36. Миронов С. Инверторные источники питания для дуговой сварки // Сварочное производство. — 2003. — № 4. — С. 41-43.

37. Источник питания МИГ/МАГ Транс Синерджик 4000 / Транс Синерджик 5000 / Транс Пульс Синерджик 2700 / Транс Пульс Синерджик 4000 / Транс Пульс Синерджик 5000. Руководство по эксплуатации. Список запасных частей. — Wels: Fronius International GmbH, 2007. — 113 с.

38. А34. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов / И.К.Походня, В.Н.Горпенюк, С.С.Миличенко и др.; Под ред. И.К.Походни. АН УССР. Ин-т электросварки им. Е.О.Патона. — Киев: Наукова Думка, 1990. — 221 с.

39. Статистические методы измерения электрических и временных параметров сварочного контура при дуговой сварке постоянным током / И.К.Походня, В.Н.Горпенюк, В.Е.Пономарев, Л.В.Стародубцев // Информ. материалы / СЭВ. Координац. центр по пробл. «Развитие науч. основ и разраб. новых технол. процессов сварки, наплавки и терм. резки различ.

материалов и сплавов для получения свар. конструкций и создание эффективных свароч. материалов и оборудования». — Киев, 1985. — Вып. 2. — С. 63–68.

40. ДСТУ ГОСТ 26271-84. Порошковые проволоки для дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей. — М.: Издательство стандартов, 1984. — 14 с.

41. Pokhodnya I.K., Shlepakov V.N. Welding with flux-cored wire /; E.O.Paton Electric Welding Inst. Ukr. Acad. of Sciences. — S.E.: Harwood Acad. publ., 1995. — 73 p. — (Weld. and surf. rev. / Ed. by B.E.Paton. — 1995. — Vol. 4, Pt. 4). — Bibliogr.: P. 59–68.

42. Widgery D. Tubular cored wire welding // New developments in advanced welding / Ed. Dr. Nasir Ahmed. — Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2005. — P. 21–39.

43. Шлепаков В.Н., Котельчук А.С. Исследование термохимических характеристик смесей дисперсных материалов методами динамического термического анализа // Автоматическая сварка. — 2011. — № 12. — С. 16–19.

44. Arc Welding Process Statistical Analysis. Methodical approaches, analysis conceptions, experiences. Manual-guide / V. Ponomarev, O. Al-Erhayem, R. L. Apps, B. Lindberg. — DTU-Helsingor, Denmark: JOM-Institute, 1997. — 158 p.

45. Шлепаков В.Н., Котельчук А.С. Оценка структурного состава металла низколегированных швов, выполненных порошковой проволокой // Информ. материалы СЭВ. — К.: 1989. — Вып. 1. — С. 7–10.

46. Котельчук А.С. Прогнозирование формирования микроструктуры металла низколегированного сварного шва // Труды III-ей Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество». — Днепропетровск, 2004. — С. 230–240.

47. Олсон Д.Л., Метцбауэр Э., Лиу С., Парк И.Д. Прогнозирование свойств металла шва повышенной прочности // Автоматическая сварка. — №10–11. — 2003. — С. 32–39.

48. Влияние легирования на механические свойства сварных швов, выполненных порошковыми проволоками / И.К. Походня, Л.Н. Орлов, Г.А. Шевченко // Автоматическая сварка. — 1985. — № 7. — С. 8–11.

49. Шлепаков В.Н., Шевченко Г.А. Легирование сердечника порошковой проволоки при сварке сталей с различным уровнем прочности // Металлургические и технологические проблемы сварки порошковой проволокой: Докл. I Междунар. шк. стран-членов СЭВ «Сварка порошковой проволокой» (София, апр. 1986 г.). — Киев: Наук. думка, 1986. — С. 84–88.

50. Шлепаков В.Н. Современные методы исследования, прогнозирования и оценки свойств сварочных порошковых проволок // Труды III-ей Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ «Сварочные материалы. Разработка. Технология. Производство. Качество». — Днепропетровск, 2004. — С. 27–31.

51. Шлепаков В.Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. Современное состояние разработок и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. — 2009. — № 3 (426). С. 179–188.

52. John D.W., Olson D.L., Frost R.H. The influence of boron and titanium of low-carbon steel weld metal // Welding Journal. — 1990. — Vol. 69 (4). — P. 151–158.

53. Evans G.M., Effect of nitrogen on C – Mn – Si steel welds containing titanium and boron // Welding Journal. — 1998. — Vol. 77 (5). — P. 239–248.

54. Zhaug Z., Farrar R.A. Influence of Mn and Ni on microstructure and toughness C – Mn – Ni weld metals // Welding Journal. — 1997. — No.76 (5). — P. 183 – 190.

55. Ramirez E., Liu S., Olson D.L. Dual precipitation strengthening effect of copper and molybdenum in high-strength steel weld metal // *Material Science and Engineering*. — 1996. — A216. — P. 91–103.
56. Garcia-Mateo C., Caballero F. G. Ultra-high-strength Bainitic Steel // *ISI International*. — Vol. 45 (2005), No. 11. — P. 1736–1740
57. ISO 14175:2010(En), Welding consumables — Shielding gases for arc welding and cutting. — ISO Office: Switzerland, 2010. — 9 p.
58. ISO 17632:2015(En). Welding Consumables — Tubular coated electrode for gas shielded and non-gas shielded metal arc welding of non-alloy and fine grain steels — Classification. — ISO Office: Switzerland, 2015. — 27 p.
59. Головки В. Н. Взаимодействие кислорода с металлом, неметаллические включения в металле шва // *Металлургические и технологические проблемы сварки порошковой проволокой: Докл. I Междунар. шк. стран-членов СЭВ «Сварка порошковой проволокой» (София, апр. 1986 г.)*. — Киев: Наук. думка, 1986. — С. 46–50.
60. Тетелмен А. Разрушение твёрдых тел / Перевод с англ. — М.: *Металлургия*, 1967. — 500 с.
61. Воинов Е. Г. и др. Рафинирование стали синтетическими шлаками. — М.: *Металлургия*, 1970. — 464 с.
62. Farrar R. A. The Role of Inclusions in the Ductile Fracture of Weld Metals. // *Weld. and Metal Fabr.* — 1976. — № 8. — P. 576–581.
63. Школьник Л. М. Скорость роста трещин и живучесть металла. — М.: *Металлургия*, 1970. — 215 с.
64. Тришевский И.С. и др. Гнутые профили проката. — Киев: *Гостехиздат УССР*, 1962. — 412 с.
65. Производство порошковой проволоки / И.К. Походня, В.Ф. Альтер, В.Н. Шлепаков, А.А. Пашенко, Л.А. Шевченко, В.С. Игумен. — Киев: *Вища школа*, 1980. — 232 с.

66. ISO 544:2011(En) Welding consumables — Technical delivery conditions for filler materials and fluxes — Type of product, dimensions, tolerances and markings. — ISO Office: Switzerland, 2011. — 10 p.
67. ISO 14344:2010(En) Welding consumables — Procurement of filler materials and fluxes. — ISO Office: Switzerland, 2010. — 12 p.
68. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах: Избранные труды // Физико-химическая механика. — М.: Наука, 1979. — 381с.
69. Перцов Н.В., Яковлев В.М. Роль поверхностных химических взаимодействий в проявлении эффекта Ребиндера при обработке металлов // Физика и химия обработки материалов. — 1985. — № 3. — С. 14–20.
70. Чередниченко Г.И., Фройштетер Г.Б., Ступак П.М. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов. — Л.: Химия, 1986. — 224 с.
71. Ищук Ю.Л. Технология пластичных смазок. — Киев: Наукова думка, 1986. — 248 с.
72. Бердичевский Е.Г. Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1984. — 224 с.
73. Юхвец И.А. Волоочильное производство. — М.: Metallurgizdat, 1960. — 286 с.
74. Lubricants for the metal forming industry. — Philadelphia, P.A. USA: Richards Apex, 2001. — 28 p.
75. Основи охорони праці / [К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний та ін.]; за ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. - К.: Основа, 2006. - 448 с.
76. Охорона праці: Методичні вказівки до розділу дипломних проектів і робіт для підготовки спеціалістів та магістрів за напрямком 7(8).050504 «Зварювання» усіх форм навчання / укладач О.Г. Левченко. - К.: НТУУ «КПІ», 2012. - 28 с.

77. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: навчальний посібник / О.Г. Левченко, О.І. Полукаров. - К.: Основа, 2014. - 352 с.

78. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: навчальний посібник / О.Г. Левченко. - К.: Основа, 2010. - 240 с.

79. И.В. Анциферова, И.А. Эсаулова, А.И.Зенков Контроль возможных рисков при использовании нанопорошков для создания условий безопасности на рабочем месте. // Естественные и технические науки. - 2012. - № 3(59). - С. 402-404., ВАК

80. Левченко О. Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты. – Киев: Наукова думка, 2015. – 248 с.

Додаток