

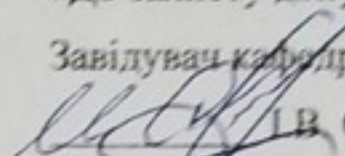
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Зварювальний факультет
Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»
УДК 621.791.925

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 І.В. Смирнов

«06» березня 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: «Дослідження механічних властивостей поверхонь з релітними
компонентами»

Виконав:

студент II курсу, групи ЗП-81мп

Носков Антон Юрійович

Керівник:

Доц. каф. Інженерії поверхні, к.т.н., доц. Попіль Ю.С.

Консультант з охорони праці:

Зав. каф. Охорони праці, промислової та цивільної безпеки

д.т.н., проф.,

Левченко О.Г.

Рецензент:

Доцент, к.т.н., кафедри ЕЗУ
Кожаней В.В.

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

Студент Носков А.Ю.

Київ – 2019 року

РЕФЕРАТ

Дисертацію виконано на 92 аркушах, вона містить 8 додатків та перелік посилань на використані джерела з 35 найменувань. У роботі наведено 45 рисунків та 20 таблиць.

Актуальність теми. Ресурс роботи устаткування, що експлуатується в нафтовій, гірничо-добувній, гірничо-збагачувальній, вугільній галузях промисловості переважно визначається терміном служби деталей машин і механізмів, що працюють за умов інтенсивного абразивного, гідро-абразивного, та інших видів зношення. Сьогодні існує значна кількість технологій, що дозволяє подовжити довговічність вищезазначених деталей (термічна обробка, механічне зміцнення та ін.). Проте найбільш ефективним способом зміцнення залишаються такі методи, як наплавлення та напилення робочих поверхонь. Використання таких методів забезпечує будь які характеристики (твердість, міцність, корозійну стійкість) нанесених зносостійких покриттів завдяки, насамперед оптимально підбраному хімічному складу наплавних матеріалів. При цьому найвищу зносостійкість при роботі в зазначених умовах мають композиційні покриття на основі тугоплавких сполук.

Основою таких покриттів є зносостійкі частинки (армуюча фаза) карбідів, нітридів та інших сполук, що мають високі показники твердості й міцності, які закріплені в більш м'якій і пластичній матриці. Для створення матриці використовують різні матеріали на основі заліза, нікелю, кобальту, міді та інших металів і сплавів, що забезпечують необхідні характеристики покриття. Наплавлений шар можна наносити багатьма способами. Залежно від способу нанесення необхідно створення цілої гами присаджувальних матеріалів, до складу яких, у першу чергу, входять армуючі частинки. Найбільш перспективним, за зносостійкістю є застосування частинок плавлених карбідів вольфраму евтектичного складу $WC - W_2C$.

Створення нового матеріалу - сфероїдизованих гранул литих карбідів вольфраму, технологія виготовлення якого дозволить забезпечити унікальні

властивості розпилених частинок, у тому числі дрібнодисперсність структури,

підвищену мікротвердість і плинність, є головним завданням досліджень, при успішному розв'язанні якого, можна створити матеріали для нанесення композиційних зносостійких покриттів з підвищеною концентрацією армуючої фази в наплавленому шарі, мінімальним ступенем розчинення гранул в матриці та поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

Генерація плазми в плазмо-дугових процесах виконується за рахунок наявності плазмоутворюючого середовища. Плазмоутворююче середовище повинно забезпечувати найбільшу питому теплову потужність плазмотрону при відповідних витратах плазмоутворюючої суміші та затраченої електричної енергії, а також концентрувати та зосереджувати отриману енергію.

Великий вплив на теплофізичні характеристики плазмового струменю в умовах теплообміну з стрічкою під час наплавлення надає вид плазмоутворюючого газу. Використання воднево-кисневої суміші у якості плазмоутворюючого газу має певні переваги в порівнянні з іншими газами. Наприклад плазма отримана з використанням аргону, не дивлячись на високу температуру, її струмінь не розплавляє дріт і основу деталі. Це зумовлено малою величиною критерія Біо і скороченою високотемпературною зоною плазмового потоку.

Таким чином наплавлення жаростійких функціональних покриттів з використанням дозволяє значно скоротити витрати на витратні матеріали. Це досягається за рахунок того, що для отримання воднево-кисневої суміші достатню мати водневий генератор, який для генерування суміші буде затратити певну кількість електроенергії. Це дозволяє зекономити на купівлі, та заповненні балонів газом. Також цей плазмовий струмінь має більшу потужність і теплопровідність, що дозволяє досягнути продуктивність як в аналогічних способах використовуючи менш потужні режими. Що в результаті дозволяє використовувати меншу кількість електроенергії на наплавлення однієї деталі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри інженерії поверхні Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Мета і задачі дослідження. Визначити, як впливають властивості фізико-хімічних процесів в струмені плазми, факелу полум'я на механічні властивості наплавленого шару релітних композицій, за рахунок зміни структури та розподілення зерен в м'якій частині композиту.

Об'єкт дослідження. наплавлений метал стрічковим релітом ЛС 6-7, структура наплавленого металу.

Наукова новизна одержаних результатів:

1 Розглянуте питання розміщення карбідних зерен в м'якій фазі наплавленого реліта в залежності від способів наплавлення і прикладеної теплової енергії.

2 Визначені механічні властивості наплавленого шару, по твердості зв'язуючих матеріалів та компонування твердих частин вольфраму в матриці прутків реліта.

3 Розглянуті мікроструктурні композиції по об'єму макро шліфів з твердою та м'якою фазами наплавленого реліту.

4 Запропонована методика та технологія наплавлення релітних композицій на малогабаритні та тонко лезові деталі та вироби.

Практичне значення одержаних результатів. наплавлення релітних композицій на малогабаритні та тонко лезові деталі та вироби, полегшення механічної обробки металу за рахунок того що релітні зерна композиту після наплавлення знаходяться в нижньому шарі наплавленого металу а м'яка Німаириця у верхньому тому час обробки і затрат на інструменти зменшується.

Ключові слова: реліт, карбід вольфраму, плазмове наплавлення з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш.

ABSTRACT

The dissertation is executed on 92 sheets, it contains 8 appendices and the list of references to used sources of 35 titles. The paper contains 45 drawings and 20 table.

Actuality of theme. The life of the equipment used in the oil, mining and coal industries is mainly determined by the service life of machine parts and mechanisms operating under intensive abrasive, hydro-abrasive, and other types of wear. Today, there is a considerable amount of technology that can extend the durability of the above parts (heat treatment, mechanical hardening, etc.). However, methods such as surfacing and spraying work surfaces remain the most effective way of strengthening. The use of such methods provides any characteristics (hardness, strength, corrosion resistance) of the wear-resistant coatings due to, first of all, the optimally selected chemical composition of the surfacing materials. In this case, the highest wear resistance under these conditions have composite coatings based on refractory compounds.

Such coatings are based on wear-resistant particles (reinforcing phase) of carbides, nitrides and other compounds, which have high hardness and strength properties, which are fixed in a softer and plastic matrix. Various materials based on iron, nickel, cobalt, copper and other metals and alloys are used to create the matrix, providing the required coating characteristics. The deposited layer can be applied in many ways. Depending on the method of application, it is necessary to create a whole range of grafting materials, which, in the first place, includes reinforcing particles. The most promising for wear resistance is the use of fused tungsten carbide particles of eutectic composition WC – W₂C

Creation of a new material - spheroidized granules of cast tungsten carbides, the manufacturing technology of which will provide unique properties of the sprayed particles, including the fineness of the structure,

Increased microhardness and fluidity are the main tasks of research, with successful solution of which it is possible to create materials for the application of composite wear-resistant coatings with increased concentration of the reinforcing

phase in the deposited layer, minimal degree of dissolution of the granules in the matrix and improved performance.

Plasma generation in plasma arc processes is performed by the presence of a plasma-forming medium. The plasma-forming medium must provide the highest specific thermal power of the plasmatron at the corresponding costs of the plasma-forming mixture and the energy consumed, as well as concentrate and concentrate the energy obtained.

The appearance of plasma-forming gas has a great influence on the thermophysical characteristics of the plasma jet under conditions of heat exchange with the tape during surfacing. The use of a hydrogen-oxygen mixture as a plasma-forming gas has certain advantages over other gases. For example, plasma is obtained using argon, despite the high temperature, its jet does not melt the wire and the base of the workpiece. This is due to the small size of the Bio criterion and the reduced high-temperature plasma flow zone.

Thus, the surfacing of heat-resistant functional coatings with the use of can significantly reduce the cost of consumables. This is achieved by the fact that to obtain a hydrogen-oxygen mixture is sufficient to have a hydrogen generator, which will generate a certain amount of electricity to generate the mixture. This saves on buying and filling gas cylinders. Also, this plasma jet has a higher power and thermal conductivity, which allows you to achieve performance in similar ways using less powerful modes. As a result, you can use less electricity to weld one piece.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The dissertation work was carried out in accordance with the plan of research works of the Department of Surface Engineering of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

The purpose and objectives of the study. Determine how the properties of physicochemical processes in the plasma stream, flame torch affect the mechanical properties of the deposited layer of flight compositions, by changing the structure and distribution of grains in the soft part of the composite.

Object of study. Welded metal with tape relay LS 6-7, structure of welded metal.

Scientific novelty of the obtained results:

1 Consideration of placement of carbide grains in the soft phase of the deposited relay depending on the deposition methods and the applied thermal energy.

2 The mechanical properties of the deposited layer, the hardness of the binder materials and the arrangement of the solid parts of tungsten in the matrix of the relay rods are determined.

3 The microstructural compositions on the volume of macro sanding with hard and soft phases of the deposited relay are considered.

4 The technique and technology of surfacing of flying compositions on small and thinly blade parts and products is proposed.

The practical significance of the results obtained. surfacing of composite compositions on small and fine blade parts and products, improvement of metal machining due to the fact that the composite relay grains after surfacing are in the lower layer of weld metal and soft Ni matrix in the upper volume of processing time and tool costs is reduced.

Key words: relict, tungsten carbide, plasma surfacing using a hydrogen-oxygen mixture as a plasma-forming gas.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	12
ВСТУП.....	13
1 АНАЛІЗ ТА ПЕРЕСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВО-КИСНЕВОЇ СУМІШІ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ.....	14
1.1 Вироби які можуть бути наплавлені з використанням воднево-кисневої плазми.....	14
1.2 Фізико-хімічні властивості реліту та аналіз впливу на механічні властивості поверхні.....	17
1.3 Методи отримання реліту.....	25
1.4 Матеріали і механічні властивості для наплавлення зносостійких поверхонь.	26
2 АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ РЕЛІТУ	35
2.1 Газополуменевий спосіб наплавлення.....	36
2.2 TIG спосіб	37
2.3 Плазмове наплавлення з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневої суміші	41
3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПЛАВЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ	48
3.1 Методи визначення технологічних параметрів при ацетилено і воднево-кисневому, плазмовому наплавленні з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш. Методи визначення ККД	48
3.2 Методика визначення тепловкладень в поверхню наплавленого металу .	50
3.3 Металографічні дослідження наплавленого металу.....	52
3.4 Методика вимірювання мікротвердості.....	57
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	62
4.1 Аналіз твердості	62

	11
4.2 Аналіз мікроструктури наплавленого матеріалу	64
5 СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	72
5.1 Опис ідеї проекту	72
5.2 Розрахунок вартості обладнання.	74
5.3 Витрати на матеріали.....	75
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	76
6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	76
6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	80
6.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях	86
6.4 Пожежна безпека.....	86
6.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	88
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	90
ДОДАТКИ.....	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЛЗ - стрічковий зерновий

ЛС - стрічковий сферичний

ЛВЗ - реліт стрічковий з сумішшю подрібнених зерен і сферичних гранул

Кз - коефіцієнт заповнення

СФ - сфероїдизація опалювальному порошку

ЗА - зварювальні аерозолі

ВСТУП

На даному етапі розвитку нашої країни одним з найважливіших напрямків є розробки по енергозберігаючим технологіям, використання нових джерел енергії, енергонезалежності. Особливо це пов'язано з виробничими галузями такими, як машинобудування. Енергонезалежність в даній галузі дозволить вітчизняним підприємствам вийти на новий рівень конкурентоспроможності, як на внутрішньому так і на зовнішньому ринках та позитивно вплинути на економіку нашої країни.

Одним з перспективних рішень даного питання є використання процесів горіння з ціллю отримання енергії. На даному етапі розвитку цивілізації близько 70% всієї енергії, яка виробляється у світі отримується за рахунок спалювання органічного палива.

Більшість основних типів конструкцій плазмотронів вже давно розроблені, і тільки модифікуються окремими вузлами або елементами для підвищення їх ККД. А ось номенклатура газів та їх сумішей, які є перспективними та високоефективними плазмовими середовищами достатньо значна.

До таких газів відноситься і водень. Плазмовий струмінь, ініційований плазмоутворюючий газ, до складу якого входить водень, володіє наступними теплофізичними властивостями: підвищує температуру та ентальпію плазмового струменя; плазмовий струмінь володіє відновлювальними властивостями; має вузьку та витягнуту форму струменя. А також водень відноситься до екологічно чистого та поновлюваного джерела теплової енергії.

Водень являється одним з основних компонентів воднево-кисневої суміші, що виробляється ЄВГ та володіє високими теплофізичними властивостями, причому з точки зору економічності, отримання воднево-кисневої суміші на багато дешевше, ніж отримання та транспортування інших плазмоутворюючих газів та сумішей. Тому використання воднево-кисневої суміші як плазмоутворювальної має великий потенціал застосування в машинобудуванні, а саме в таких процесах як плазмове наплавлення, різання та зварювання.

1 АНАЛІЗ ТА ПЕРЕСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЕВО-КИСНЕВОЇ СУМІШІ ДЛЯ НАПЛАВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ

1.1 Вироби які можуть бути наплавлені з використанням воднево-кисневої плазми

Воднево-киснева плазма завдяки своїм теплофізичним властивостям ідеально підходить для наплавлення зносостійких, абразивностійких і покриттів стійких до великих напружень. Оскільки вона має не лише високу температуру горіння а й великий коефіцієнт теплопровідності, що дозволяє ефективно розплавляти дріт і зону наплавлення до складу яких входять тугоплавкі метали.

Замок бурильної труби- Використовуються для з'єднання в колони бурильних труб.



Рисунок 1.1 – Замок бурильної труби

Бурильні труби з'єднуються між собою за допомогою бурильних замків зі спеціальною замкової різьбленням. Кінці труб товщають, для збільшення їх міцності, зовнішньої, внутрішньої або комбінованої висадкою.

Бурильні труби застосовуються для спуску в свердловину і підйому породоразрушаючого інструменту, передачі обертання, створення осьового навантаження на інструмент, підведення промивної рідини або стисненого повітря до забою.

Бурильні труби виготовляються шляхом приварювання ніпеля і муфти замкового з'єднання до висаджених кінців тіла бурильної труби [1].

Двухопорное долото - є один з основних інструментів для руйнування гірських порід механічним способом.

Один з найбільш універсальних породоруйнуючих інструментів, який широко застосовується в усіх галузях. Він надає дробящий або дробяще-сколюватися ефект, тим самим формуючи свердловину потрібного діаметру. Таке долото призначене для абразивних і неабразивних порід будь-якої твердості.

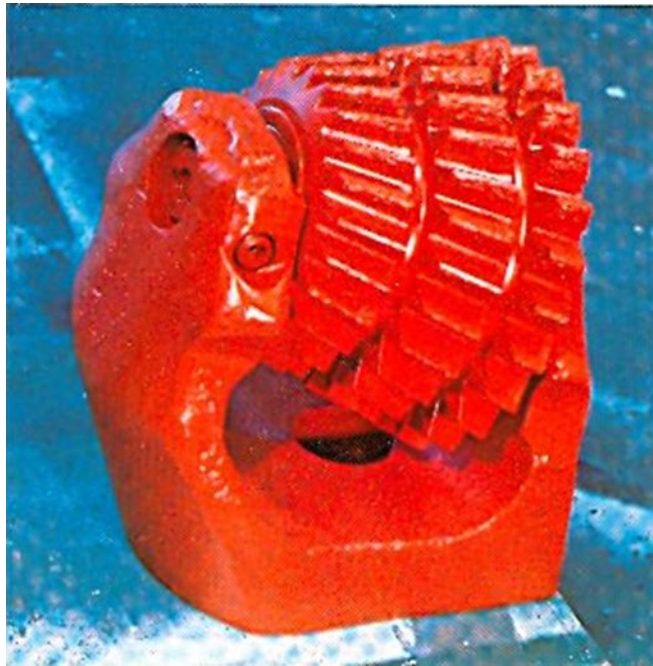


Рисунок 1.2 – Двухопорное долото

Як було зазначено вище, бурові долота використовуються для того, щоб пробурити нафтову, газову, водяну або будь-яку іншу свердловину. Фактично, даний елемент виконує наступні функції:

- руйнування ґрунту у вибої;
- глибинна проходка;
- вирівнювання стінок свердловини.

Долота широко застосовуються в багатьох сферах, де потрібно пробурити ґрунт. Наприклад, якщо потрібно зробити колодязь або ж зібрати інформацію про склад ґрунтів і дати їм оцінку. Нафтова і газова промисловість не в змозі обійтися без цього породоруйнуючого обладнання, так як саме воно дозволяє

найбільш ефективно проводити буріння свердловин різного розміру і глибини[2].

Лезо леміхів – Такий леміш плуга складаються з двох металевих шарів. Перший верхній шар - м'який зі сталі. При виготовленні нижнього шару лемеші використовують міцний, зносостійкий сплав «Реліт» - 1 товщиною 1,7 мм. Іноді замість «Реліт» для другого шару беруть високолеговану сталь.



Рисунок 1.3 – Лезо леміхів

Завдяки різній міцності двох шарів трапецеїдального лемеші вони зношуються нерівномірно, і лезо інструменту все одно залишається гострим після тривалого використання.

Тепер про долотоподібні Лемеші. Такі відрізняються від трапецеїдальних більш висунутим носком, цей носок, долото, знаходиться на 10 мм нижче рівня леза і допомагає плугові заходити глибше в землю. Ширина обробки ґрунту - 5 мм. Так само, як і трапецеїдальний, долотоподібні леміш і його долото мають потовщення з нижньої сторони, щоб потім при ремонті відновити його форму.

Лемеші з видвижним долотом призначені для орання землі на велику глибину, особливо якщо вона сильно засмічена камінням. З трьох нами описаних, ці лемеші найпотужніші і не використовуються на плугах загального призначення. Такими обробляють погану болотисту місцевість або цілину.

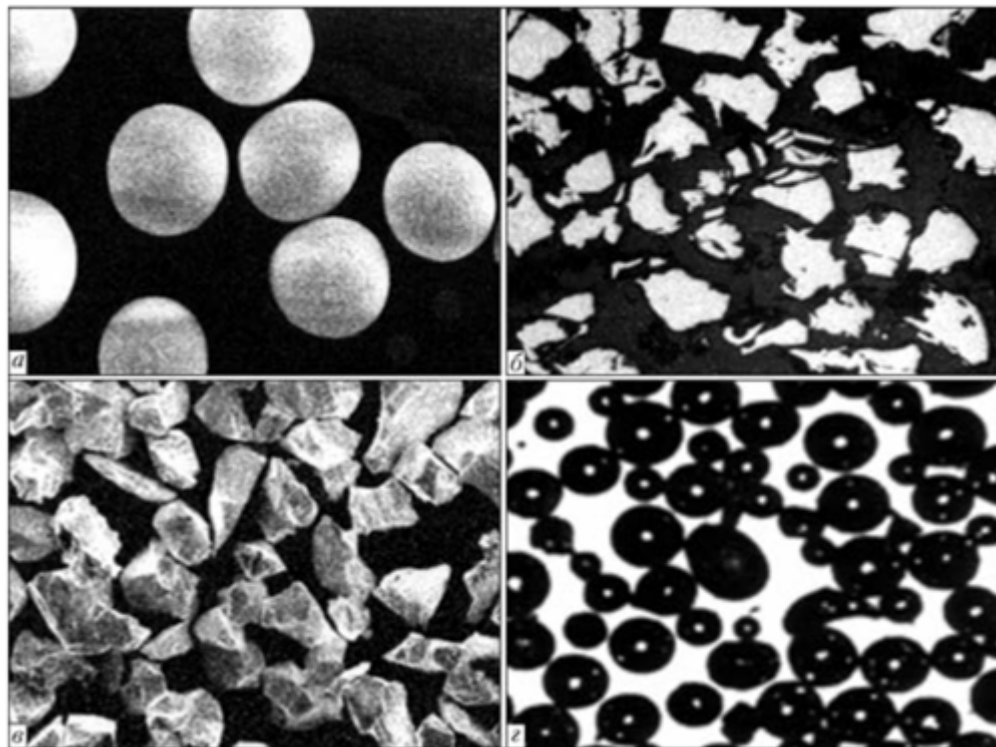
Особливість цих інструментів в тому, що вони мають щок, прикріплену знизу їх носка. У міру зношування їх долото висувається вперед і продовжується служба лемеха.

1.2 Фізико-хімічні властивості реліту та аналіз впливу на механічні властивості поверхні

Висока зносостійкість наплавлених композиційних сплавів з металевою матрицею, зміцненої карбідами вольфраму, обумовлює їх широке застосування для захисту обладнання від різних видів інтенсивного зносу. перш за все це пов'язано з унікальними властивостями армуючої фази таких сплавів - карбідами вольфраму. найпоширеніший в промисловості монокарбід вольфраму WC зі стехіометрією 6,13% с. Він відрізняється високою твердістю HV 2200, міцністю на стиск 5 - 7 ГПа і модулем пружності 700 ГПа, при цьому зберігає механічні характеристики в широкому діапазоні температур, стійкий до фрикційної корозії і здатний утворювати міцний зв'язок з металами [3, 4]. Карбід вольфраму значно твердіше і працює набагато краще в умовах зносу і корозії при високих ударних навантаженнях, ніж мартенсит, карбіди заліза та хрому. Його широко використовують при виробництві ряду марок сталей, а в наплавленні при виробництві порошкових дротів, стрічок і електродів. Крім того, монокарбід WC - основний компонент спечених твердих сплавів типу ВК, одержуваних методом порошкової металургії. зміцнення бурового інструменту [5, 6]. процес отримання таких матеріалів полягає в тривалому змішуванні дрібних частинок карбіду з кобальтової або нікелевої зв'язкою, попередньому низькотемпературному спіканні під тиском, а потім остаточне спікання при температурі 1350 - 1600 °С в вакуумі або атмосфері водню. при цьому усадка і ущільнення при спіканні практично виключають пористість [7]. Карбід вольфраму іноді змішують з іншими твердими карбідами для підвищення їх властивостей. наприклад, карбід титану і карбіду танталу або ніобію використовують для підвищення хімічної і теплової стабільності, а також для збереження високотемпературної твердості.

Об'ємна частка і розмір часток карбиду може змінюватися в залежності від вимог, а в останні роки спостерігається тенденція до застосування нано кристалічних карбідних частинок, які ефективно позначаються на підвищенні зносостійкості сплавів. багато фірм рекомендують для наплавлення бурового інструменту, а також для зміцнення деталей гірничої та металургійної промисловості подрібнені відходи металокерамічних сплавів типу ВК або ВН [5, 9]. внаслідок відносно високої міцності такі матеріали особливо важливі у випадках, коли необхідне застосування частинок розміром від 1,5 мм і вище.

Макрокристалічний карбід вольфраму. Він являє собою гранульований порошок (див.рис.1.4, б) з розміром гранул переважно до 200 мкм, що містить 6,13% загального вуглецю, 0,03% вільного вуглецю і до 0,15% домішок, в основному заліза [5, 7].



а - гранули сплаву ВК-6; б - макрокрісталліческого WC; в - подрібнений плаваний WC + W₂C; г - оплавлений WC + W₂C

Рисунок 1.4 – Наплавлювальні матеріали з карбідів вольфраму, отримані різними методами

Макрокристалічний карбід вольфраму використовують переважно для плазово-порошкової наплавки в поєднанні з матричним сплавом на базі нікелю. Його застосування найбільш перспективно в абразивних умовах з маленькими кутами атаки і низькими поверхневими напруженнями.

Всі перераховані матеріали в більшій чи меншій мірі знайшли своє призначення в різних галузях промисловості.

Однак на сьогодні найбільш поширеним матеріалом в якості армуючої фази для отримання високотвердих композиційних шарів є плавлений карбід вольфраму - реліт (див.рис. 1.4, в). Це евтектичний сплав моно- і полукарбіда вольфраму $WC + W_2C$ з температурою плавлення $2735\text{ }^{\circ}\text{C}$ і мікротвердістю в залежності від виробника від HV 1000 до HV 2400.

Переважно литий карбід вольфраму використовують у вигляді крупки, отриманої в результаті дроблення злитків, виплавка яких здійснюється в печах опору Таммана при температурі $3100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після розсівання по фракціям отриманий порошок використовують для плазово-порошкового індукційного або пічного наплавлення. Для ацетилено-кисневого наплавлення тривалий час використовували так званий трубчасто-зерновий реліт, а в останні роки стрічковий.

Поряд з високою твердістю і міцністю плавлений карбід вольфраму має і ряд недоліків, пов'язаних з технологією його отримання. Значна частина зерен відрізняється неоднорідністю складу, має характерні дефекти лиття, тріщини і неспіввісність. В кінцевому рахунку це негативно відображається на працездатності наплавлених композиційних шарів. У зв'язку з цим в світі йде постійний пошук шляхів вдосконалення цього матеріалу.

З огляду на бурхливий розвиток в останнє десятиріччя процесів плазово-порошкового наплавлення важливим фактором є сферична форма частинок порошків, яка забезпечує максимальну сипкість і відповідно стабільну роботу дозуючих пристроїв. Свого часу фахівцями США і Канади [10-13] була розроблена індукційно-плазова технологія отримання сферичних частинок плавленого карбіду вольфраму.

Вона полягає в оплавленні попередньо підготовлених подрібнених зерен. В процесі проходження їх через стовп індукційної плазми. В результаті отримують частинки сферичної форми зі збереженим хімічним складом (див.рис. 1.4, г). Щоб уникнути втрат, зумовлених перегрівом частинок і їх подальшим випаровуванням, необхідна ретельна оптимізація процесів

плавлення і сфероїдизації, що тягне за собою створення дорогих комп'ютерних програм.

Отримані гранули мають строго сферичну форму, стабільний стехіометричний склад, мілкоглобулярну структуру і в результаті твердість понад HV 3000 і високу міцність. При цьому технологія забезпечує отримання заданого гранулометричного складу частинок порошку в вузькому діапазоні розмірів і наявність відходів (несферичної складової) в межах 5 - 8%. Зовнішній вигляд і макроструктура сферичних гранул карбіду вольфраму показана на Рисунок 1.5.

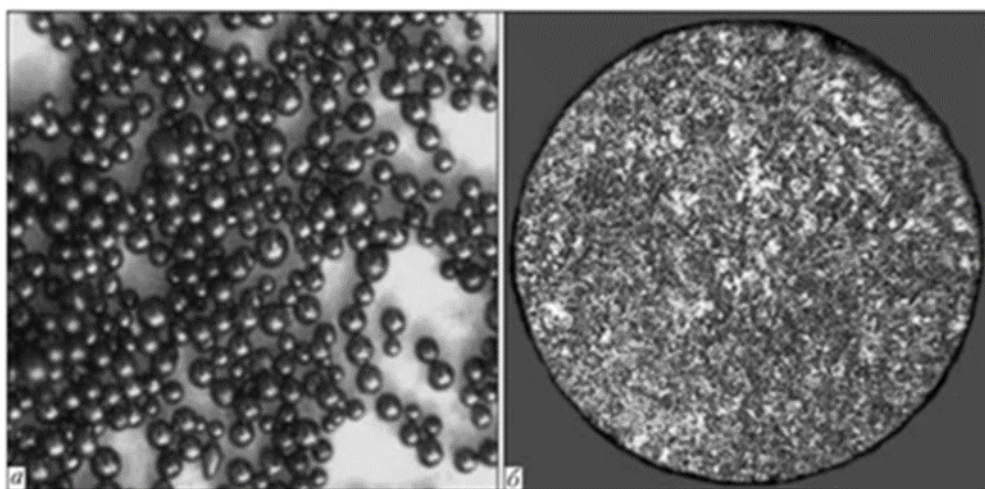


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд (а) і макроструктура (б) сферичних гранул карбіду вольфраму

У табл. 1.1 наведені хімічний склад і властивості плавленого карбіду вольфраму із сферичними і подрібненими гранулами. Дослідженнями встановлено, що унікальна твердість і підвищені характеристики міцності сферичних гранул карбіду вольфраму в значній мірі залежать від стехіометричного складу евтектичного сплаву $WC + W_2C$. Його дотримання в межах 78 - 82% W_2C 18 - 22% WC в поєднанні з дрібнозернистою

макроструктурою, яка утворюється внаслідок високих швидкостей кристалізації, забезпечують мікротвердість гранул понад HV 3000 МПа.

У табл. 1.2 наведені дані складу фаз і твердість гранул карбіду вольфраму, отриманих різними технологіями, які свідчать про переваги матеріалу, отриманого методом термоцентробіжного розпилення [16].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад (мас. %) і властивості сферичного і дробленого карбіду вольфраму

Хімічні елементи та їх характеристики	Сферичний	Дроблений
Вольфрам	94,5...95,5	94,3 (мін.)
Полний вуглець	3,8	3,8...0,1
Свободний вуглець	0,02...0,05	0,1 (макс.)
Залізо	0,1...0,3	0,5 (макс.)
Прімісії (Cr, V, Nb и т.д.)	0,5...0,8	1,2 (макс.)
Твердість HV	2800...3100	2000...2200
Мікроструктура	високоякісна, голчаста, глобулярна	голчаста
Текучість, с/50 г	7,2...8,0	10,5...12,0
Плотність, г/см ³	10,0...10,8	7,6...8,4
Змочуваність	Хороша	Хороша

Таблиця 1.2 – Склад фаз і твердість карбід вольфраму, отриманого за різними технологіями

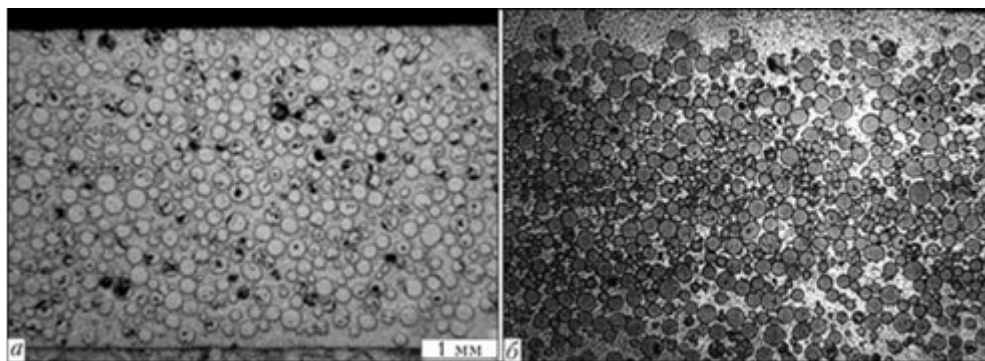
Вид частинок карбіда вольфрама	C, %	Фаза	Вміст фази, мас. %	HV
Дроблений	3,90	WC	36,2	1800...2300
		W ₂ C	63,8	
Макрокристалічний	6,00	WC	95,42	1900...2150
		W ₂ C	4,08	
Сферичний (оплавлення)	3,90	WC	31,12	1900...2800
		W ₂ C	57,2	
Сферичний (ропилення)	4,00	WC	22,66	2600...3300
		W ₂ C	77,34	

Таблиця 1.3 – хімічного складу сплавів, використаних в якості матриці

Тип сплава	Вміст елементів, мас. %									HRC
	C	Si	B	Ni	Cr	V	Mo	Fe	Mn	
Ni-основа	0.5	2.6	2.2	основа	13.5	-	-	2.1	-	40
Fe-основа	2.2	0.6	-	2.7	18.2	7.8	2.5	основа	0.8	44

Крім того, сферичні гранули значно меншою мірою підлягають процесу розчинення в сталевій матриці при наплавленні композиційних шарів. Це дуже важливий аспект, так як при попаданні в рідкий матричний розплав карбідів вольфраму відбувається дифузія вольфраму і вуглецю з наступним утворенням складних залізо-вольфрамових карбідів, які істотно окрихчують матрицю [17-19].

Як зазначалося раніше порошок карбиду вольфраму в сферичних гранулах крім високої твердості і міцності, має високу сипучість, що зумовлює його широке застосування при плазмово-порошковому і лазерному наплавленні [20, 21]. Ці процеси забезпечують подачу матричного і армуючого порошку в зварювальну ванну таким чином, щоб максимально зменшити тепловий вплив на частинки карбідів вольфраму і тим самим зберегти їх від розчинення. При цьому досягається концентрація армуючої фази в наплавленному шарі, що перевищує 50%.



а - C-Fe-V-Cr-матриця + + 50% WC + W₂C; б - Ni-Cr -Si-B-матриця + 50% WC + W₂C

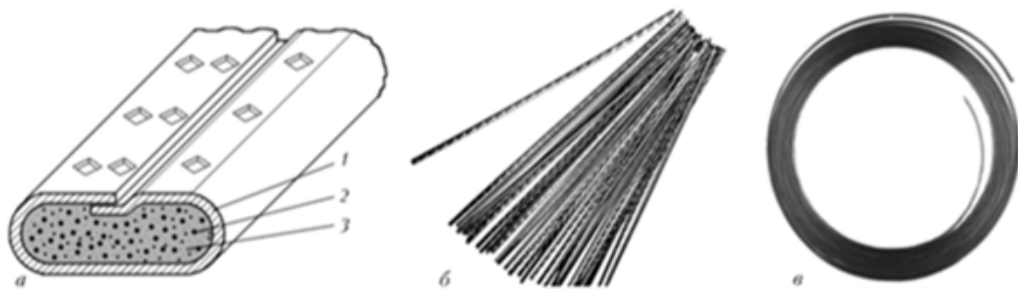
Рисунок 16 – Макроструктура композиційного шару, наплавленого плазменно-порошковим методом

Стрічковий реліт. При зміцненні швидкозношуваних деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування, найбільш широке застосування знаходять композиційні сплави на основі зерен литих карбідів вольфраму (WC – W₂C), які мають високу зносостійкість. При цьому використовується присадний матеріал - стрічковий реліт, який являє собою

пруток плоского перетину довжиною 750мм з сердечником з суміші розкислюючих, легуючих і флюсоутворюючих компонентів, а також часток карбідів вольфраму (реліту), отриманих шляхом дроблення злитків. Вміст реліту в осерді становить не менше 65%.



Рисунок 1.7 – Пруток реліта



Переріз (1 - оболонка; 2 - $WC + W_2C$; 3 - шихта) (а), зовнішній вигляд стрічкового реліт в прутках (б) і в бухті (в)

Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд стрічкового реліту

Основними способами отримання зносостійких покриттів з використанням стрічкового реліту є: аргонодугове, плазмове, ацетилено - кисневе наплавлення та інші. У наплавленого металу відсутні пори, тріщини та інші дефекти. При

наплавленні стрічковий реліт добре розтікається по наплавлювальній поверхні. Формування наплавленого шару відмінне.

Перевагою стрічкового реліту є також можливість наплавлення композиційних сплавів з матрицею на основі заліза, нікелю, міді, легованої хромом, марганцем, молібденом і іншими елементами стосовно до різних умов зношування. При цьому, вміст часток в сплаві становить не менше 50%, за обсягом наплавленого металу.

Таблиця 1.4 – Марка стрічкового реліту

Марка ленточного реліта	Розмір частинок реліта основної фракції, мм	Розміри ленточного реліта, мм		Маркування (кольору)
		$B=0,5$	$H=0,3$	
ЛЗ-4-6 ЛС-4-6	0,28...0,45	6,0	3,0	Білий
ЛЗ-6-7 ЛС-6-7	0,45...0,63	7,0	3,0	Жовтий
ЛС-8-7	0,63...0,80	7,0	3,0	Оранжевий
ЛЗ-11-7	0,63...1,10	7,0	3,0	Зелений
ЛСЗ-6/4-7	0,45...0,63-С 0,28...0,45-З	7,0	3,0	Красний
ЛСЗ-8/4-7	0,63...0,80-С 0,28...0,45-З	7,0	3,0	Коричневий
ЛСЗ-8/6-7	0,63...1,10-С 0,45...0,63-З	7,0	3,0	Синій
ЛСЗ-11/4-7	0,63...0,80-С 0,28...0,45-З	7,0	3,0	Голубий
ЛСЗ-11/6-7	0,63...0,80-С 0,45...0,63-З	7,0	-	Фиолетовий

В позначенні марки матеріалу букви позначають: ЛЗ - стрічковий зерновий; ЛС - стрічковий сферичний; ЛВЗ - реліт стрічковий з сумішшю подрібнених зерен і сферичних гранул; для марок ЛЗ і ЛС перша група цифр означає розмір подрібнених зерен або сферичних гранул основної фракції в мм, збільшений в 10 разів і округлений; для марок ЛВЗ в чисельнику дробу - розмір основної фракції сферичних гранул, в знаменнику - розмір основної фракції

подрібнених зерен в мм, збільшений в 10 разів і округлений; друга група цифр - ширину стрічкового реліт в мм.

При зміцненні деталей, вузлів і механізмів, що працюють в умовах особливо інтенсивного абразивного зносу замість зерен дробленого реліт в осерді використовується сферичний реліт, отриманий методом термоцентробіжного розпилення. Такий реліт в декілька разів перевершує подрібнений по міцності, ударостійкості і зносостійкості. Мікротвердість сферичного реліту знаходиться в межах 2800 - 3100 Нv. Зміст армуючих частинок в наплавленого металу може досягати 65%.

Стрічковий реліт знайшов широке застосування при наплавленні бурового інструменту та обладнання, деталей гірничо-шахтного, енергетичного і металургійного комплексів.

1.3 Методи отримання реліту

Самим продуктивним методом являється термовідцентроване розпилювання сфероїдизованих гранул литих карбідів вольфраму.

1. Проведено аналіз існуючих способів одержання металевих порошків. Встановлено, що найбільш перспективним для розпилювання зливків карбідів вольфраму, що мають високу температуру плавлення, є спосіб термовідцентрового розпилення. Запропонована технологія дає можливість завдяки об'ємному характеру кристалізації частинок з надвисокими швидкостями отримувати матеріал з дрібнодисперсною структурою, гарантованою відсутністю лікваций та покращеними фізичними властивостями (мікротвердість, плинність). Оптимальною формою гранул з погляду їх подальшого використання в складі зносостійких композиційних матеріалів є сферична форма, яка маючи найбільший об'єм при найменшій питомій поверхні повинна забезпечити максимальну концентрацію армуючої фази в наплавленому шарі при мінімальному її розчиненні в матриці сплаву.

2. Побудовано математичну модель процесу термовідцентрового розпилення карбідів вольфраму, за допомогою якої вивчені умови

краплеутворення при розпилюванні з торця обертового зливка, створено механізм для керування гранулометричним складом одержуваного порошку. Встановлено, що при сталих теплових характеристиках джерела нагрівання ($N \approx 24 \text{ кВт}$) і теплофізичних властивостях матеріалу, що розпилюється, збільшення швидкості обертання сприяє зменшенню математичного сподівання діаметра краплі. При зазначеній потужності плазмової дуги на торці обертового зливку досягається температура в межах $2900 - 3100^\circ \text{C}$, що цілком достатньо для стійкого процесу краплеутворення. Для керування гранулометричним складом розпилених гранул отримана формула:

Встановлено, що при обертанні зливку із частотою від 1200 до 10000 об/хв можна отримати сферичні частинки від 50 до 1000 Мкм.

3. Методами металографічного, мікрорентгенспектрального, рентгено-структурного та енергодисперсійного спектрального аналізу встановлено, що при повторному переплаві зливків карбіду вольфраму евтектичного складу розпилені частинки мають максимальну мікротвердість ($HV_{100} = 2914 \pm 254 \text{ МПа}$), що на 30-35% перевищує мікротвердість дроблених частинок і на 20-25% частинок отриманих методом плазмово-індукційної сфероїдизації. При цьому розпилені частинки мають дрібнодисперсну структуру, високі показники хімічної однорідності при фазовому складі $WC/W_2C = 20/80$.

1.4 Матеріали і механічні властивості для наплавлення зносостійких поверхонь.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним направленням підвищення зносостійкості поверхневих шарів є нанесення високоміцних зносостійких матеріалів. При наплавленні міцної зносостійкої поверхні тривалість роботи напрямних роликів коробок дрібно сортових дротяних станів збільшується у 3 - 5 рази. Для наплавлення роликів застосовується наплавочний порошковий дріт ВЕЛТЕК-620, Нп-70Х5Г3М3СФР, наплавочний композиційний порошок ПС-12НВК-01, який складається з суміші порошків карбіду вольфраму (35 % по масі) і порошка ПГ-10Н-01 (65 % по масі),

забезпечуючи твердість наплавленого металу HRC 62 - 65, також реліту. Реліт являє собою евтектичний сплав моно і полукарбіду вольфраму $WC+W_2C$ (20 - 22 % WC + 78 - 80 % W_2C) [1], який має високу зносостійкість.

Застосовують у якості наплавочної присадки – стрічковий реліт для формування зносостійкої поверхні. Стрічковий реліт – пруток плоского перерізу з осердям розкислюючих, легуючих і флюсостворюючих компонентів, а також часток карбідів вольфраму (реліту) при мікротвердості HV 2000 - 2200, який отриманий подрібненням зливків. Основними способами отримання зносостійкого покриття з використанням стрічкового реліту є аргонодугове, плазмове, плазмове-порошкове і ацетиленно-кисневе наплавлення. В металі який наплавляється відсутні пори, тріщини та інші дефекти. Стрічковий реліт добре розтікається по поверхні яка наплавляється, що забезпечує формування зносостійкого шару.

У даній роботі наведені результати досліджень зносостійкості і міцності частинок плавлених карбідів вольфраму $WC-W_2C$, отриманих різними способами - механічним дробленням злитків, термоцентробіжним розпиленням злитків, сфероїдизацією порошків з використанням індукційно-плазмової технології та ін. [9-12].

Відомо, що концентрація армуючих частинок в композиційному сплаві визначається їх формою. Оптимальною є сферична форма частинок, яка забезпечує максимальну концентрацію зносостійкої фази, хорошу їх сипкість і, як наслідок, стабільну роботу дозуючих пристроїв наплавлювальних установок [22, 23]. На рисунок. 1.9 наведені дані про насипної щільності, а на рисунок 1.10 - про сипучості плавлених карбідів вольфраму (реліт) зі сферичною і остроугольной формою частинок, отриманих за загальноприйнятою методикою [23], які свідчать про перевагу сферичної форми частинок, особливо в плані їх сипучості.

Подрібнені частинки карбідів вольфраму через воронку діаметром 2,5 мм взагалі не прокидаються. Зроблений висновок також підтверджується вимірами коефіцієнта заповнення K_z стрічкового реліту в залежності від фракційного

складу і форми армуючих частинок (див.рис. 1.11). Максимальне значення коефіцієнта заповнення має присадковий матеріал на основі сферичних частинок реліту розміром 0,28-0,45 мм, мінімальне - на основі подрібнених частинок карбідів розміром 0,63-0,90 мм, що обумовлено їх відповідною формою. Досліди проводили при вільній засипці армуючих частинок за допомогою стрічкового дозатора в жолобок, сформований холоднокатаною стрічкою товщиною 0,3 мм і шириною 18 мм [25].

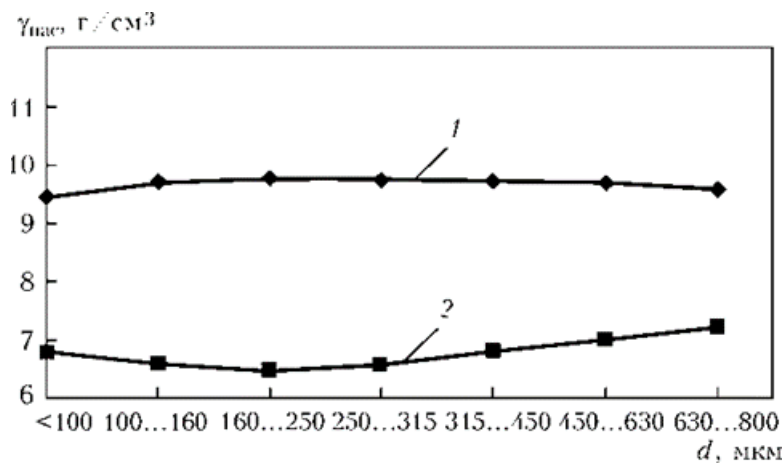


Рисунок 1.9 – Насипна щільність Q Фрама різних розмірів d

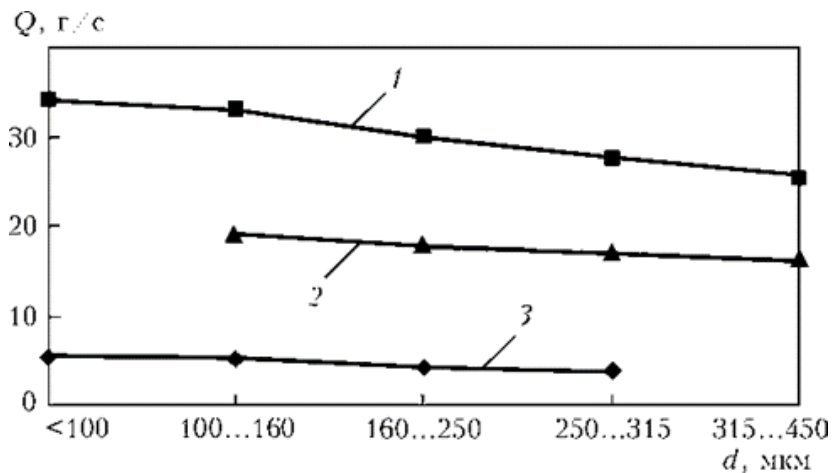


Рисунок 1.10 – Сипучість Q сферичних d = 5,0 (1) і 2,5 мм (3) і подрібнених d = 5,0 мм (2) частинок карбідів вольфраму

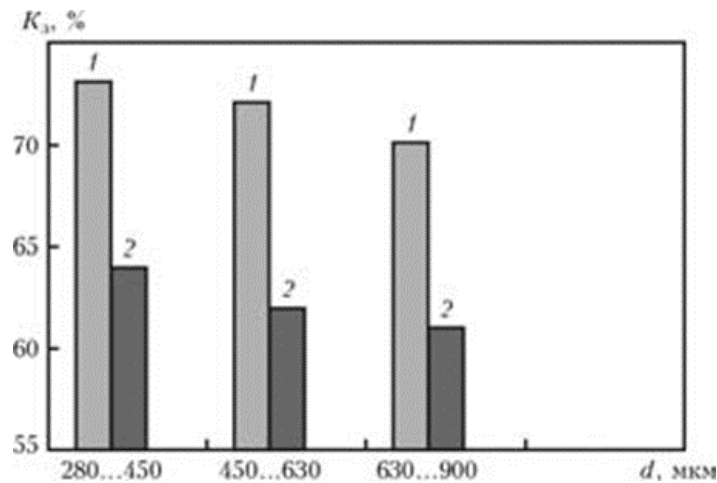


Рисунок 1.11 – Залежність коефіцієнта заповнення K_z стрічкового реліт від фракційного складу і форми армуючих частинок сферичної (1) і подрібненої (2)

Таким чином, сферична форма армуючих частинок композиційних сплавів є найбільш оптимальною для отримання необхідної концентрації зносостійкої фази в наплавні матеріали і зносостійкому шарі, а також стабільної роботи наплавочного технологічного обладнання.

Частинки плавлених карбідів вольфраму як роздробленої, так і сферичної форми мають приблизно однаковий хімічний склад, а отже, їх зносостійкість буде залежати від міцності і структури. Необхідно відзначити, що процес термоцентробіжного розпилення внаслідок підвищеної швидкості охолодження сферичний позитивно впливає на формування структури плавлених карбідів вольфраму [25].

Абразивну зносостійкість композиційних сплавів досліджували на машині НК-М [26, 27]. Абразивом служив кварцовий пісок грануляції 0,05-0,50 мм. Як зразки використовували циліндри діаметром 10 мм, які виготовляли в такий спосіб.

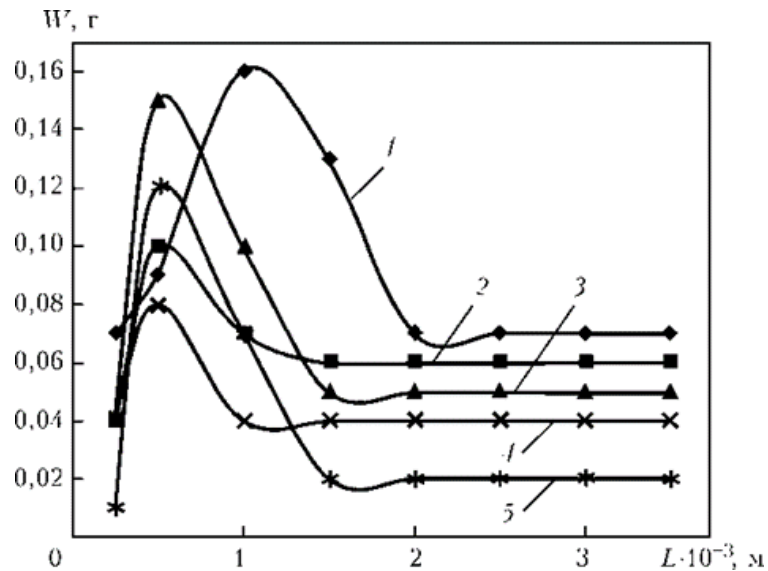


Рисунок 1.12 – Залежність зносостійкості W композиційного сплаву з армуючими подрібненими частками плавлених карбідів вольфраму різного гранулометричного складу від шляху тертя L : 1 - $d < 180$; 2 - 180 ... 250; 3 - 250 ... 450; 4 - 450 ... 630; 5 - 630 ... 900 мкм

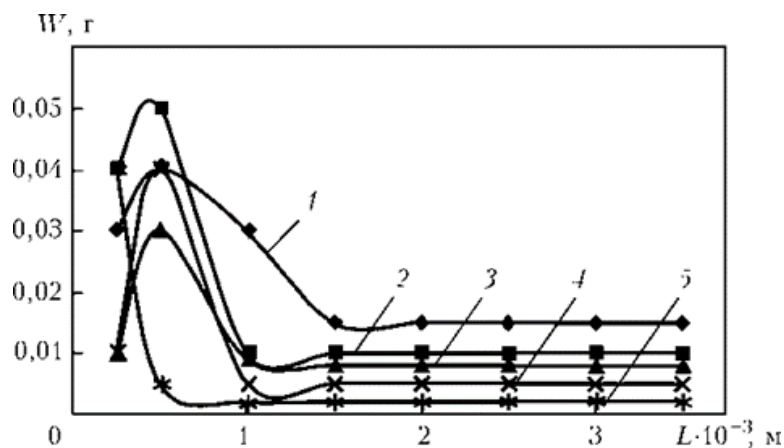


Рисунок 1.13 – Залежність зносостійкості W композиційного сплаву з армуючими сферичними частинками плавлених карбідів вольфраму різного гранулометричного складу, отриманих термоцентробежним розпиленням, від шляху тертя L : 1-5 - см.

Арміруючи подрібнені або сферичні частинки карбідів вольфраму, отримані різними способами (марки СФ-1, СФ-2, СФ-3 - сфероїдизацією опалювального порошку в різних світових фірмах; марка ІЕЗ - термоцентробіжним розпиленням в ІЕЗ ім. Є. О. Патона). зверху на частинки укладали порцію матричного сплаву з мідно-нікель-марганцевого мельхіору МНМц 60-20-20. Форму закривали графітовою кришкою і інтенсивно нагрівали

плазмовою дугою, при цьому матричний сплав просочував арміруючі частки. Після охолодження форму механічно обробляли по діаметру і висоті. Кожен з п'яти зразків мав наступні розміри частинок реліту, мкм: менше 180; 180-250; 250-450; 450-630; 630-900. Знос зразків оцінювали за втратою їх маси. Питома навантаження на зразок становила 0,5 Па, швидкість тертя 0,58 м / с, шлях тертя $L = 3,5-103$ м.

Дослідженнями встановлено залежність зносостійкості композиційного сплаву з армуючими подрібненими (див.рис 1.12) і сферичними частинками (рис. 1.13 і 1.14), отриманими різними способами, від шляху тертя. Представлені дані свідчать про те, що зносостійкість композиційного сплаву зі сферичними частинками однакового гранулометричного складу більше, ніж у дробленого реліту в три і більше разів (див.рис. 1.12 і 1.13).

У композиційних сплавах з армуючими сферичними частинками, отриманими різними способами, найменший ізнос відзначений у сплаві з армуючими сферичними частинками карбідів вольфраму, отриманими термоцентробіжним розпиленням (див.рис. 1.4).

Встановлено також, що в початковий період випробувань йде приробіток зношуваних поверхонь зразків, яка у композиційного сплаву зі сферичними частинками відбувається на шляху тертя по абразиву $L = 2 \cdot 10^3$ м, а композиційного сплаву з подрібненими частками при $L = 2 \cdot 10^3$ м. це можна пояснити неправильною формою.

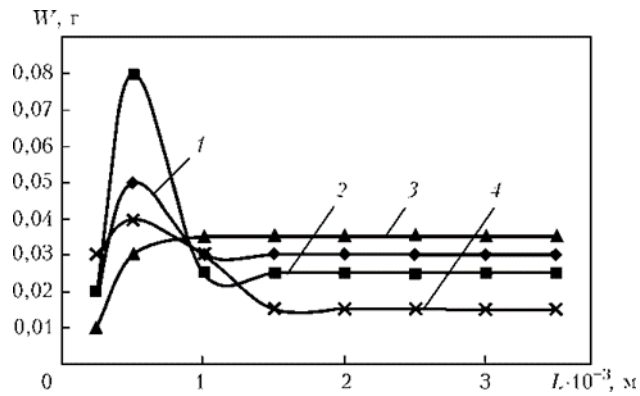


Рисунок 1.14 – Залежність зносостійкості W композиційного сплаву з армуючими сферичними частинками плавлених карбідів вольфраму, отриманих сфероїдизацією опалювальному (1 - СФ-1; 2 - СФ-2; 3 - СФ-3) і термоцентробежним розпиленням (4 - ІЕЗ)

Від шляху тертя міцністю частинок подрібненого реліту, у яких їх знос, руйнування і викришування гострих кутів відбувається в більший період приробітку зразків.

Характерною особливістю процесу іносу композиційних сплавів є стабілізація іносу зразків після приробітку. При цьому інос зразків з подрібненими частками реліт менш стабільний. Визначено, що зносостійкість композиційних сплавів зменшується зі збільшенням розміру часток (див.рис. 1.15), що, мабуть, підтверджує наявність тіньового ефекту.

Як зазначалося вище, процес термоцентробіжного розпилення підвищує однорідність структури частинок плавлених карбідів вольфраму, що позитивно позначається на їх міцності. Зусилля, необхідне для їх руйнування, визначали на спеціальному пристрої. Частинки поміщали між двома шліфувальними пластинками і статично навантажували. Випробуванням піддавали 40 частинок кожної фракції ($d < 180$; 180 - 250; 250 - 450; 450 - 630; 630 - 900 мкм).

Для подрібнених зерен фракції менше 180 мкм провести вимірювання міцності не вдалося у зв'язку з їх малим розміром і складністю визначення навантаження.

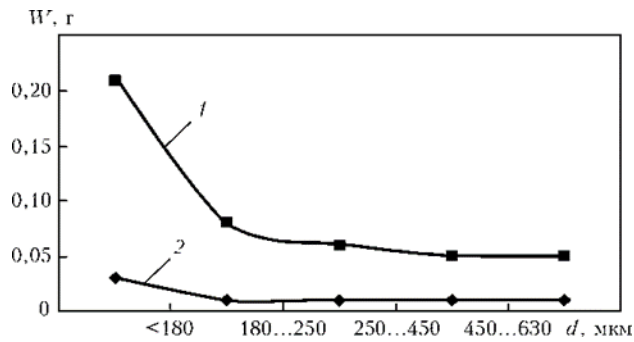


Рисунок 1.15 – Залежність зносостійкості W плавлених карбідів вольфраму від розміру d армируючих подрібнених (1) і сферичних (2) частинок при $L = 2 \cdot 10^3$ м

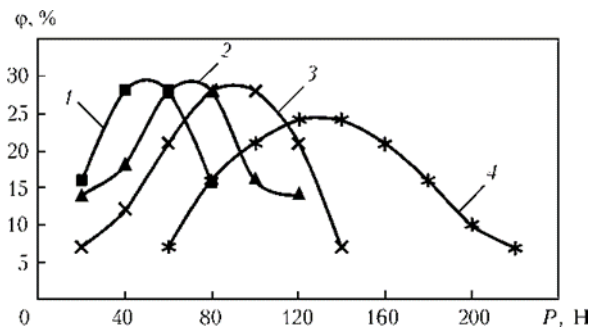


Рисунок 1.16 – Прочність ϕ частиц дробленого релита різного гранулометричного складу (ϕ — частота повторення; P — навантаження): 1 — $d = 180 - 250$; 2 — $250 - 450$; 3 — $450 - 630$; 4 — $630 - 900$ мкм

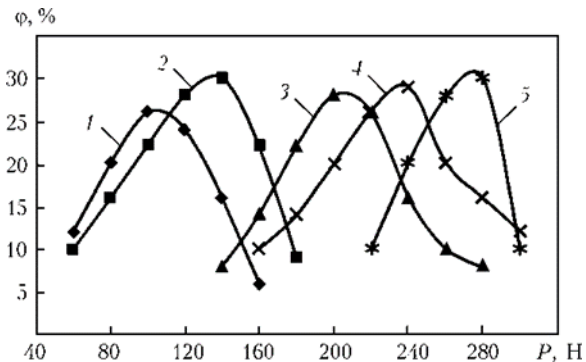


Рисунок 1.17 – Міцність ϕ сферичний реліт різного гранулометричного складу, отриманого термоцентробежним розпиленням: 1 - $d < 180$; 2 – $180 - 250$; 3 - $250 - 450$; 4 - $450 - 630$; 5 - $630 - 900$ мкм

На рис. 1.16 і 1.17 показано розподіл міцності подрібнених і сферичний реліт різного гранулометричного складу, отриманого термо- відцентровим розпиленням. Порівнювали також міцність сферичного реліту розміром $d \ll 180$

мкм, отриманого різними способами (див.рис. 1.18). Як видно з малюнка, найвищою міцністю відрізняються сферичні частинки марки ІЕЗ, отримані в ІЕЗ ім. Е. О. Патона способом термоцентробіжного розпилення.

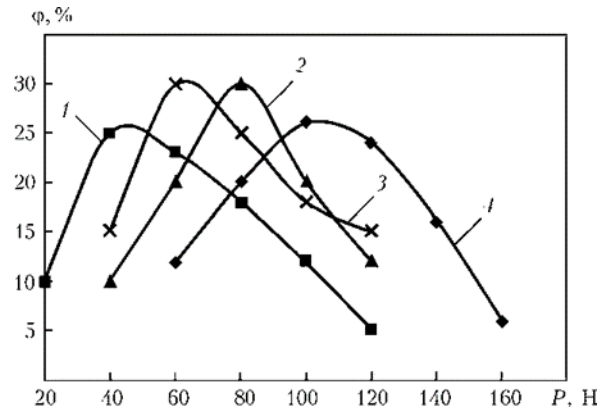


Рисунок 1.18 – Міцність ϕ сферичний реліт, отриманих сфероїдизацією опалювальному (1 - СФ-1; 2 - СФ-2; 3 СФ-3) і термоцентробежним розпиленням (4 - ІЕЗ)

2 АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ НАПЛАВЛЕННЯ РЕЛІТУ

Основними способами отримання зносостійких покриттів з використанням стрічкового реліту є: аргонодугове, плазмове, ацетилено - кисневе наплавлення та інші. У наплавленого металу відсутні пори, тріщини та інші дефекти. При наплавленні стрічковий реліт добре розтікається по наплавлюваного поверхні. Формування наплавленого шару відмінне.

Перевагою стрічкового реліту є також можливість наплавлення композиційних сплавів з матрицею на основі заліза, нікелю, міді, легованої хромом, марганцем, молібденом і іншими елементами стосовно до різних умов зношування. При цьому, вміст часток в сплаві становить не менше 50%, за обсягом наплавленого металу.

Ацетилен (C_2H_2) - універсальний та найбільш розповсюджений полум'яутворюючий газ, який використовується у процесах газополуменевої обробки матеріалів. При згорянні у суміші з кисня він дає полум'я з найбільш високою температурою, яка дорівнює $3150^{\circ}C$. Досягти такої високої температури полум'я при використанні других полум'яутворюючих газів неможливо. Його нижня теплота згоряння у суміші з кисня при нормальних умовах ставити $53 \text{ МДж} / \text{м}^3$.

Технічний ацетилен для газополуменевої обробки матеріалів можна отримати трьома способами. Розклад карбіду кальцію водою у ацетиленовому генераторі. З природного газу термоокислюючим піролізом у присутності металів і кисня (піролізний ацетилен) .Розкладом рідінного пального (нафти, гасу) дією електродугового розряду (електропіроліз) [23].

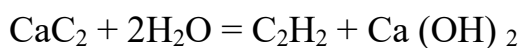
При використанні ацетилену враховувати його вибухонебезпечність. Температура самозагоряння ацетилену в залежності від тиску знаходиться у межах від 240° до $630^{\circ}C$. Практично нагрівання ацетилену обмежується $300^{\circ}C$ при тиску до $0,1 \text{ МПа}$, $150^{\circ}C$ при тиску до $0,25 \text{ МПа}$ та не більше $100^{\circ}C$ при більш високому тиску.

У промисловості ацетилен випускається і транспортується у двох видах: у розчиненому та газоподібному.

Розчинений ацетилен - це розчинений у ацетоні ацетилен. При тиску 0,101 МПа та температурі 20°C у 1 кг ацетону розчиняється 27,9 кг ацетилену, або у 1 дм ацетону розчиняється 20 дм³ ацетилену. Розчинність ацетилену в ацетоні збільшується пиблизно прямопропорційно до тиску. Пориста маса, что находится у ацетиленовому балоні запобігає вибуху ацетилену, а наявність ацетону збільшує Кількість ацетилену у балоні.

Максимальний Тиск при заповненні Балона ставити 2,5 МПа (25 кгс / см²). При відстої і охолодженні Балон до 20°C Тиск ацетилену падає до 1,9 МПа (19 кгс / см²). У 40-літровому балоні масою 52 кг вміщується 5 ... 5,8 кг ацетилену по масі або 4,6 - 5,3 м³ по об'єму при 20°C та тиску 0,101 МПа.

Газоподібній ацетилен - безкольоровий газ з різким специфічним запахом, внаслідок наявності в ньому фосфористого водню та сірководню. В основному він отримується розчиненням карбїду кальцію водою в ацетиленовому генераторі [23].



2.1 Газополуменевий спосіб наплавлення

При газополуменевому (газовому) наплавленні для нагріву металу основи та наплавлюваного металу, використовують теплоту, що виділяється при горінні суміші ацетилену або його замінників і кисню. Газове полум'я - найменш інтенсивне джерело нагріву, тому його використання обумовлює більшу, ніж при інших наплавленнях, зону термічного впливу. Випаровування металу при використанні цього джерела нагріву незначні. Особливістю процесу є можливість наплавлення із малою часткою основного металу в наплавленому (5...10%), що пов'язане з відсутністю значного тиску струменя газу на поверхню ванни. Тиск потоку газу оцінюється прямо пропорційно квадрату кількості газу, що витікає з сопла в секунду, і його щільності і обернено пропорційний до відстані від зрізу сопла до поверхні ванни. Ця залежність дозволяє зварникові

легко керувати процесом. Окрім малого проплавлення, газове напавлення має і інші переваги:

- універсальність і гнучкість технології;
- можливість напавлення тонких шарів;
- знижену небезпеку виникнення тріщин, оскільки процес напавлення легко поєднується з попереднім підігріванням;
- низьку вартість напавлювального устаткування.

Недоліки газового напавлення - низька продуктивність процесу; нестабільність якості напавленого шару, яка залежить від кваліфікації зварника.

Метал нагрівається і розплавляється полум'ям газу, що спалюється в суміші з киснем в спеціальних пальниках. Горючий газ - ацетилен або його замітники: пропан-бутанова суміш, природний газ, водень і ін. Відома газова напавка з присадкою прутків або з вдуванням порошку в газове полум'я. Широко використовується при ремонті сільськогосподарської та автомобільної техніки, а також для напавлення реліт бурових доліт і швидкозношуваних деталей гірничорудної техніки.

2.2 TIG спосіб

Напавлення неплавким електродом в середовищі інертних газів. В якості захисного газу застосовують аргон чистотою не менше 99,9% (по ГОСТ 10157-73, сорти: вищий, перший і другий) або суміші аргону з гелієм. Напавлення вугільної дугою ведуть на постійному струмі прямої полярності. Як електроди можна застосовувати вугільні або графітові і вольфрамові стрижні різних діаметрів.

TIG - Tungsten Inert Gas - ручна дугова зварка неплавким електродом в середовищі інертного захисного газу. Може здійснюватися з ручною або автоматичною подачею присадного дроту або без неї. Так як найбільш поширене застосування в якості захисного газу аргону, за цим методом закріпилася назва «аргонодуговая сварка», або АДС. Слід, однак, зауважити, що таке найменування не зовсім правильно, тому що при зварюванні методом TIG в

якості захисного газу можуть використовуватися також гелій, азот або різні газові суміші, існує також метод атомно-водневого зварювання, схожий за своєю фізичної сутності з методом TIG , крім того, зварювання з використанням аргону в якості захисного газу може вестися і з застосуванням плавлення електрода.

Вибір джерел живлення

АДІ-200S призначений для ручного дугового, аргондугового, механізованого зварювання у середовищі захисних газів і сумішей на постійному струмі. Апарат має наступні переваги [34]:

- Широкі можливості регулювання параметрів зварювання;
- Можливість налаштування імпульсного режиму у всіх типах зварювання;
- Встановлена система стабілізації роботи при довгострокових перепадах напруги у живлячій мережі від 160В до 260В;
- За рахунок високого ККД джерело забезпечує вдвічі менше споживання електроенергії в порівнянні з традиційними джерелами;
- Адаптивна швидкість вентилятора;
- Велика тривалість навантаження на номінальному струмі;
- Підвищена надійність в умовах запиленого виробництва;
- Встановлено захист теплового електронного захисту на всі деталі, які піддаються нагріву;
- Покращена стабільність горіння дуги.

Технічні характеристики інвертора АДІ-200S вказано у Таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики АДІ-200S

Параметри	АДІ-200S
Номінальна напруга живлячої мережі 50 Гц, В	220
Номінальний споживаний струм із мережі, А	25-28
Номінальний зварювальний струм, А	200
Максимальний діючий струм, А	270
Тривалість навантаження	45%/при 200А 100%/при 134А
Межі зміни напруги живлячої мережі, В	160-260
Межі регулювання зварювального струму, А	10-200
Межі регулювання зварювальної напруги, В	12-28
Діаметр штучного електроду, мм	1.6-5.0
Діаметр зварювального дроту, мм	0.6-1.0
Імпульсні режими при зварюванні	ММА/TIG/MIG/MAG
Гарячий старт в режимі РДЗ	Регульований
Форсаж дуги в режимі РДЗ	Регульований
Антиприлипання в режимі РДЗ	Автоматично
Блок зниження напруги холостого ходу	Вкл/викл
Напруга холостого ходу РДЗ, В	12/70
Напруга підпалу дуги, В	110
Номінальна споживана потужність, кВА	5.5-6.1
Максимальна споживана потужність, кВА	8.0
ККД, %	90
Охолодження	Примусове
Діапазон робочих температур	-25...+45°C
Габаритні розміри, мм (довжина, ширина, висота)	315x110x255
Маса без котушки і аксесуарів, кг	5.8
Клас захисту	IP21

Інверторний зварювальний апарат для TIG зварювання ПАТОН АДІ-200S та його складові зображено на рис.2.1.



1. Одиниці виміру відображуваного параметру
2. Цифровий семисегментний дисплей
3. Кнопки регулювання обраного параметру
4. Індикатор обраного режиму зварювання
5. Кнопка перемикавання на необхідний режим зварювання
6. Індикатор роботи апарата
- A. Гніздо силового струму «+» типу байонет
- B. Гніздо силового струму «-» типу байонет
7. Гніздо подачі захисного газу в пальник
8. Роз'єм кнопок управління на пальнику
9. Кнопка увімкнення/вимкнення апарату
10. Індикатор перевищення напруги мережі
11. Штуцер подачі захисного газу з балону

Рис. 2.1 - Складові інвертора ПАТОН АДІ-200S

Схема підключення зварювального апарата показана на рис. 2.2.

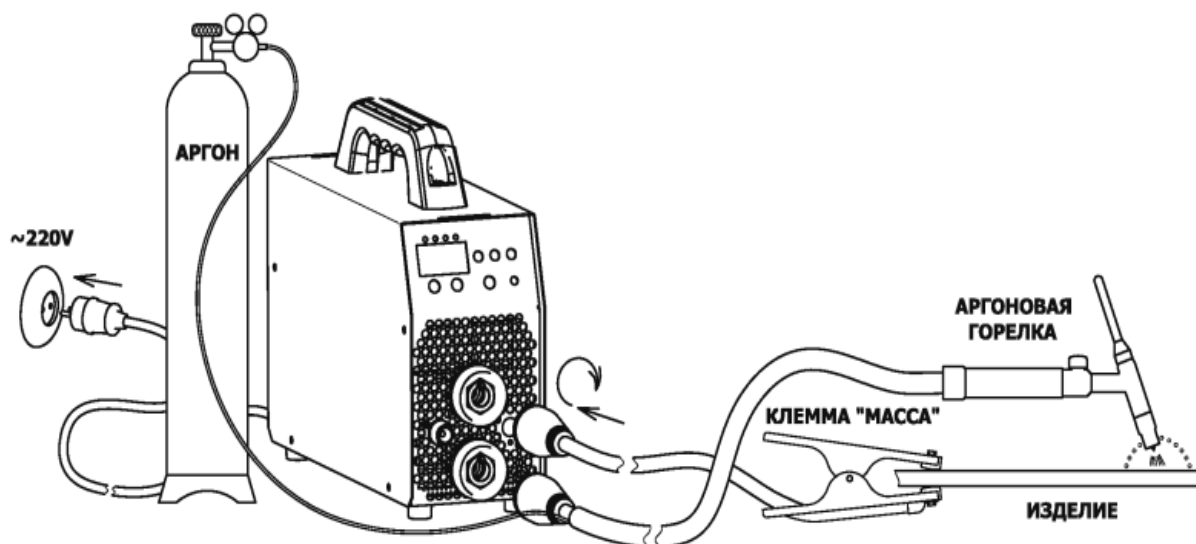


Рис.2.2 - Схема підключення інвертора ПАТОН АДІ-200S[34]

2.3 Плазмове наплавлення з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневої суміші

Водень – двохатомний газ, має високу теплопровідність та високу напруженість поля дугового пучка плазми і є високоефективним перетворювачем електричної енергії в теплову. Тепловміст плазми з використанням водню в 4 рази вищий за аргонову плазму, за рахунок більш низьких температур дисоціації та іонізації водню порівняно з аргоном та гелієм. Дисоціація водню відбувається при температурі 2000 К та повністю завершується при температурі 6000 К. В цьому температурному інтервалі водень має надзвичайно високу теплопровідність. Повністю водень іонізується при температурах близьких до 25000 К. Водень дуже рідко використовується як самостійний плазмоутворюючий газ. Але за рахунок своїх високих теплових характеристик (теплопровідності та ентальпії) є дуже ефективним в суміші. Так наприклад суміш аргону та водню (до 35%) дає можливість швидко передавати кінетичну енергію, що значно підвищує ефективність плазмового різання [22].

Вода – хімічно складна речовина до складу якої входить водень. Вода в якості плазмоутворюючого середовища використовується у рідкому стані або в стані пару. Молекули водяного пару при температурі 1000 °С починають дисоціювати на водень та кисень. При температурах 4000 – 5000°С відбувається

повна дисоціація води на водень та кисень. Дисоціація води при таких значних температурах відбувається з поглинанням тепла. Це забезпечує інтенсивне охолодження периферійних зон плазмового пучка та концентрує його, в результаті чого температура ядра плазмового пучка збільшується [22].

В останні роки все більша увага приділяється плазмовим процесам, у яких у якості плазмоутворюючого газу застосовується водяна пара. Завдяки таким своїм унікальним властивостям, як висока ентальпія, окислювально-

відновлювальний характер, екологічність, недефіцитність і т.д., пароводяна плазма представляється досить перспективною в різних технологічних процесах, зв'язаних, наприклад, з одержанням синтетичних продуктів, при переробці шкідливих відходів, у процесах газифікації твердих палив, при зварюванні, різанні, нанесенні покриттів та ін.

Застосування низькотемпературної плазми відкриває зовсім нові можливості перед сучасним промисловим виробництвом. Завдяки високій об'ємній концентрації енергії плазми з її допомогою можуть бути реалізовані процеси, які у звичайних умовах або не відбуваються, або йдуть дуже повільно й неефективно [22].

Перші спроби переходу на водяну пару як плазмоутворюючий газ позначили цілий ряд проблем, які необхідно було вирішити для створення оптимальної конструкції пароводяних плазмотронів і забезпечення їх дійсно ефективної роботи. Зазначені складності, головним чином, минулого зв'язані з специфікою властивостей водяної пари, проблемами його одержання з води й наступним введенням у плазмотрон. Це потребувало проведення цілого ряду попередніх досліджень, спрямованих на з'ясування, наприклад, таких моментів, як причини гідродинамічних пульсацій у парогенеруючих пристроях, електричні пульсації та газодинамічна нестійкість потоку плазми в розрядній камері плазмотрону [22].

При виборі плазмоутворюючого середовища потрібно звертати увагу на такі властивості плазмо утворюючого газу або суміші:

- енергія іонізації (одно- або двоатомного) газу;

- теплопровідність;
- ентальпія;
- атомна та молекулярна маса;
- хімічна активність.

В табл. 2.2 приведені деякі основні фізичні властивості газів, які використовуються в якості плазмоутворюючого середовища.

Таблиця 2.2 – Основні фізичні властивості плазмоутворюючих газів

Гази	Ar	He	N ₂	O ₂	H ₂	Повітря
Енергія іонізації, еВ	15,8		15,5	12,5	15,6	34
Енергія дисоціації, еВ	-		9,8	5,1	4,4	
Теплопровідність при 0°C, Вт/м·К	16,6		24,5	24,7	168	24,5
Ентальпія,						
Атомна маса, а.о.м.	40		14	16	1	14,4

Нижче представлені рис.2.3 з теплофізичними характеристиками плазмоутворюючих газів опубліковані в технічній літературі.

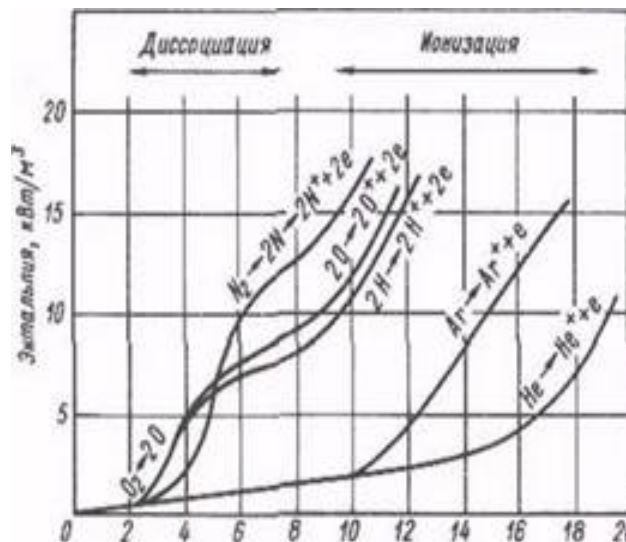


Рисунок 2.3 – Залежність ентальпії різних газів від температури при дисоціації та іонізації

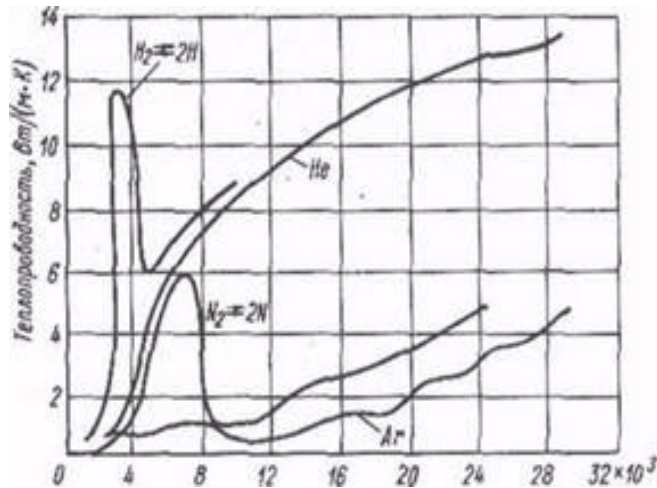
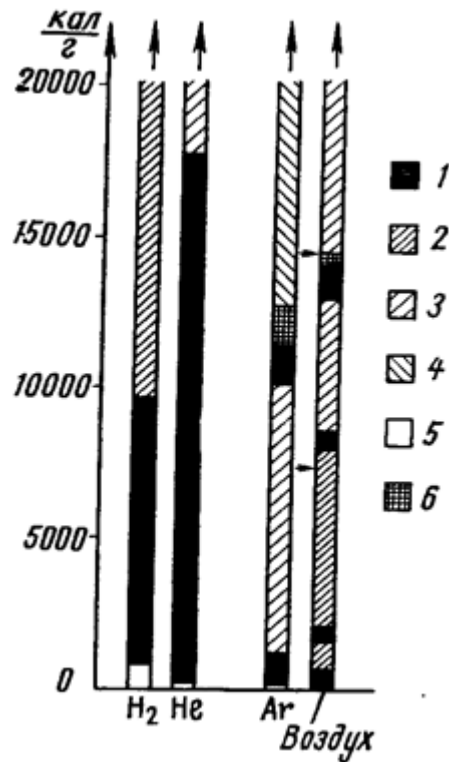


Рисунок 2.4 – Теплопровідність плазмо утворюючих газів в залежності від температури



Види ентальпій: 1 – теплова; 2 – дисоціація; 3 – іонізація 1-го рівня; 4 – іонізація 2-го рівня; 5 – випаровування; 6 – електронний газ. На діаграмі для повітря нижня стрілка відповідає повній дисоціації азоту та кисню, верхня стрілка – повній іонізації кисню та початку іонізації азоту.

Рисунок 2.5 – Тепловміст плазموутворюючих газів при 1 атм.

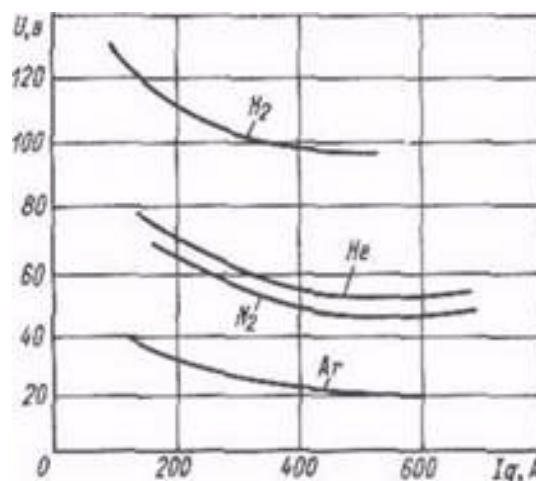


Рисунок 2.6 – Вольт-амперна характеристики плазмової дуги в різних газах

Щоб забезпечити найповніший комплекс позитивних властивостей плазмоутворюючого середовища, використовують суміші з різних газів. До складу суміші можуть входити одно-, двох- або багатокomпонентні гази.

Вибір джерел живлення

Виходячи з попередньо сказаного доцільніше використовувати суміші в якості плазмо утворюючого середовища, що поєднують та підсилюють позитивні якості газів, які входять до склад даної суміші. Саме тому ми обираємо воднево-кисневу суміш.

Джерело живлення для плазмового наплавлення повинно мати крутоспадну характеристику. Вона може бути забезпечена наступними типами джерел живлення: випрямлячами, керованими дроселями насичення, тиристорні випрямлячами зі зворотним зв'язком по струму, джерелами живлення на базі індуктивно-ємнісних перетворювачів і транзисторними джерелами живлення. В окремих випадках можуть використовуватися зварювальні генератори, трансформатори з розсіюванням, баластні реостати.

В якості джерела живлення обираємо апарат рис 2.7 для плазмового різання "Пурмо-400ВА" його характеристики наведені в табл. 2.3.



Рисунок 2.7 - Апарат для плазмового різання "Пурмо-400ВА"

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики апарату плазменного різання "Пурмо-400ВА"

Характеристика	Значення
Номінальна напруга мережі живлення, В	380В, 3-х фазна, 50 ГЦ.
Межі регулювання зварювального струму, А	80 – 200
Напруга холостого ходу, В	250
Максимальна споживана потужність, кВт	60
ККД, %	85
Габаритні розміри, мм	1020х600х940
Маса, кг	590

Вибір блоку охолодження плазмотрону

Охолодження даного плазмотрону здійснюється проточною водою. Для уникнення проблем з перепадами швидкості та тиску струменя, які часто виникають в промислових мережах, було вирішено обрати міні гідростанцію НС-014 – Hydronit рис. 2.8, яка оснащена електричною шафою керування. Характеристики гідростанції представлені в табл. 2.4.



Рисунок 2.8 – Міні гідростанція НС-014 – Hydronit

Таблиця 2.4 – Характеристики міні гідростанції НС-014 – Hydronit

Продуктивність насосу, л/хв	15
Робочій тиск, бар	100
Частота обертів електродвигуна, об/хв	1450
Напруга живлення електродвигуна, В	380
Потужність електродвигуна, кВт	2,2
Об'єм гідробаку, л	40
Габаритні розміри, мм	500×370×750
Маса без рідини, кг	60

Вибір водневого генератора

Для отримання воднево кисневої суміші обираємо генератор А-1803, його характеристики вказані в табл. 2.5.

Таблиця 2.5– Характеристики електролізно-водяного генератора А-1803

Продуктивність, м/год	1,6
Споживана потужність, кВт	7
Напруга живильної мережі, В	380
Габаритні розміри, мм	1000×450×650

3 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПЛАВЛЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Методи визначення технологічних параметрів при ацетилено і воднево-кисневому, плазмовому наплавленні з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш. Методи визначення ККД

Продуктивність зварювання та витрати матеріалів і газів основні чинники, що визначають техніко-економічні показники зварювання й тому важливі для вибору технологічного процесу виготовлення зварних конструкцій.

Існує два способи газового зварювання — правий і лівий.

Зварювання правим способом здійснюють зліва направо; полум'я направлене на вже наплавлений метал і присадний дріт. Цей спосіб застосовують для зварювання металу товщиною більше 3...4 мм. При цьому підвищується продуктивність зварювання. Зварювання лівим способом здійснюють справа наліво; полум'я направлене на нерозплавлені зварювані кромки металу та присадний дріт. Цей спосіб рекомендують застосовувати для зварювання тонкого металу. Основними параметрами процесу газового зварювання є витрати пального газу, за якими вибирають номер наконечника пальника, співвідношення між киснем і палим газом, діаметр і марку присадного дроту. Потужність полум'я обчислюють за питомими витратами ацетилену, потрібного для зварювання одного міліметра товщини металу, за формулою де - питома витрата ацетилену для зварювання металу товщиною 1 мм, $\text{дм}^3 / \text{год мм}$; δ - товщина металу, мм [30, 33].

За розрахованими витратами ацетилену вибирають відповідний номер наконечника табл. 3.1 а за номером наконечника — пальник.

Таблиця 3.1 Наконечники ацетиленових пальників із неперервною шкалою потужності

Номер наконечника	0	1	2	3	4	5	6	7
Витрати ацетилен, $\text{дм}^3 / \text{год}$	20...60	50...135	135...250	250...400	400...700	700...1100	1100...1750	1700...2500

Продуктивність газового зварювання можна оцінити за масою розплавленого та наплавленого металу за одиницю часу G , кг/год:

$$G = \frac{3600 \cdot F \cdot L \cdot p}{1000t} = 3,6 \cdot \frac{F \cdot L \cdot p}{t},$$

де F - площа перерізу зварного шва, см²; L - довжина зварного шва см; p густина матеріалу (для сталі - 7,8 г/см³): t - час зварювання, с.

Ефективність використання теплової енергії можна визначити ефективним ККД зварювання

$$\eta_{\text{зв}} = \frac{\omega \rho S_{\text{пл}}}{q_n} (F_{\text{пр}} + F_{\text{напл}}),$$

де ω - швидкість переміщення пальника, м/год; p - густина матеріалу, кг/м³; $S_{\text{пл}}$ - тепловміст одиниці маси металу за температури плавлення T (для сталі $T = 1600^\circ\text{C}$ $S_{\text{пл}} = 1600$ Дж/кг); q_n - повна теплота, яка утворюється під час згоряння газу, МДж/год; Q - Нижня теплотворна здатність ацетилену $Q = 53$ МДж/м³; $U_{\text{сна}}$ - витрати ацетилену, год [30, 33].

Знаючи, можна визначити витрати ацетилену та кисню на наплавлення й розплавлення і металу, а також швидкість його наплавлення:

$$A_{\text{напл}} = \frac{V_{\text{C}_2\text{H}_2}}{G};$$

$$K_{\text{напл}} = 1,2 A_{\text{напл}};$$

$$V_{\text{напл}} = \frac{3600G}{t}.$$

Лінійну швидкість зварювання, м/год, визначають за формулою

$$W = \frac{3600L}{100t},$$

а витрати ацетилену й кисню на зварювання 1 м, м³/м, - за формулами

$$A_{\text{напл}} = \frac{V_{\text{C}_2\text{H}_2}}{1000W}; \quad K' = 1,15 A',$$

де $V_{\text{C}_2\text{H}_2}$ - потужність полум'я, що визначається годинною витратою ацетилену, л/год.

3.2 Методика визначення тепловкладень в поверхню наплавленого металу

Основні Фізичні та теплові Властивості полум'яутворюючих газів та рідин, які нашли найбільше поширення при газополуменевій обробці матеріалів наведені у таблиці 3.2.

Для запалення полум'яутворюючого газу необхідні Такі умови:

1. палтвна суміш винна буті нагріта до деякої температури, яка називається температурою запалення газів.
2. об'ємний вміст полум'яутворюючого газу в паливній суміші повинен бути у визначених межах, які називаються межею запалення, або межею вибух даної пальної суміші.

Під температурою запалення речовини розуміють мінімальну температуру, при якій у визначених умовах виникає горіння цієї речовини. Цю температуру не можна розглядати як константу, яка характеризує речовини, що нею користуються для визначення вибухової небезпечності даної речовини.

Нижній (або верхній) концентраційною межею запалення називається нижня (або вища) концентрація пального компонентів у суміші полум'яутворюючого газу з повітрям або кисня, за межами якої (нижчих ніжньої або вище вищої) Неможливо Реакція горіння. У таблиці 2.2 наведені температури та межі запаленою деяк газів [23].

Таблиця 3.2 – Основні Фізичні та теплові Властивості полум'яутворюючих газів та рідін (при 20°C та тиску 0,101 МПа)

Полум'я-утворюючий газ	Максимальна температура полум'я у суміші з киснем T, °C	Нижня теплота згоряння суміші газів Q _н , МДж/м³	Максимальна швидкість горіння у суміші з киснем W, м/с	Співвідношення між киснем і газом для нормального полум'я, β	Коефіцієнт заміни ацетилену Ψ	Об'ємна густина (щільність) газу, кг/м³
Ацетилен, C ₂ H ₂	3200	53	13,5(7,6)*	1,1-1,3	1	1,09
Пропан, C ₃ H ₈	2500	93,2	3,0-3,5	3,5	0,6	2,01
МАФ (метил-ацетилен-аленова фракція)	2930	89,1	~4,7	2,3	1,1	1,7
Природний газ (~94% CH ₄)	2400	31,8-33	~3,3	1,5-2,1	1,4-3,5	0,68-0,9
Водень, H ₂	2600	10	8,9	0,3	2	0,084
Гас	2450	44,3**	-	1,7-2,4		(8,0-8,4)*10 ²
Бензин	2600	42,7-44,3**	-	1,1-1,4		(0,69-0,76)*10 ²

Таблиця 3.3 – Температури та межі запалення полум'яутворюючих газів

Назва газу	3 Температура запалення суміші, °C		Межі запалення суміші, %	
	3 повітрям	4 3 киснем	3 повітрям	5 3 киснем
Ацетилен, C ₂ H ₂	335	295	2,5-83	2,8-93
МАФ	321	—	2,3-11,9	2,5-60
Пропан, C ₃ H ₈	—	—	2,3-9,5	1-48
Бутан, C ₄ H ₁₀	490	460	1,9-9,0	1,8-49
Водень, H ₂	530	450	4,0-75	4,5-95
Метан, CH ₄	645	645	4,9-16	5,0-61

Співвідношення між киснем і полум'яутворюючим газом для нормального характеру горіння полум'я у процесах газополуменевої обробки матеріалів наведені у таблиці 2.3.

Таблиця 3.4 – Робоче співвідношення між киснем і полум'яутворюючим газом для нормального характеру горіння полум'я

Назва газу	Співвідношення β	Назва газу	Співвідношення β
Ацетилен, C_2H_2	1,1-1,3	Коксовий газ	0,75-0,8
Водень, H_2	0,25-0,35	Нафтовий газ	1,5-2,2
Природний газ	1,5-2,1	Сланцевий газ	0,7
Пропан, C_3H_8	3,0-3,5	МАФ	2,3

3.3 Металографічні дослідження наплавленого металу

Основою проведення металографічних досліджень виступає приготування шліфів (які будуть зразками, що демонструють здійснені зміни). Надалі шліфи використовують для проведення мікроскопічних досліджень.

Метою таких досліджень є визначення кількісного виміру структурних складових і мікротвердості. Гарантом отримання достовірних результатів в процесі металографічних досліджень є добре приготований металографічний шліф, відповідний цілої низки умов.

Спочатку, він повинен для використовуваного матеріалу бути репрезентативним зразком. При цьому його обробка (така як вирізка, шліфування, і полірування), повинно здійснюватися таким чином, при якому на його поверхні зберігався б елементарний шар деформованого і спотвореного металу. Це необхідне умова необхідно для встановлення справжньої мікроструктури матеріалу після проведення травлення.

Разом з тим, необхідно вважати, що на поверхні шліфа не повинно виявлятися полірувальних ямок, а також подряпин і плям, що з'явилися як підсумок взаємодії з рідинами. Наступним умовою є вимога до розмірів і форми шліфують, а саме, він повинен бути неодмінно плоским, щоб можна було

дослідити під мікроскопом при значних збільшеннях. Підготовка металографічних шліфів для дослідження, як правило, складається з чотирьох або п'яти основних етапів:

- вирізка зразка і підготовка поверхні;

- його закріплення (цей етап не є обов'язковим);
- шліфування;
- полірування;
- травлення.

Після того як зразок піддається вирізці, здійснюється його шліфування з використанням паперу різного ступеня зернистості, починаючи з використання більш грубого з поступовим переходом до більш тонкому абразиву. Потім для видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування найдрібнішою шкуркою, зразок полірують.

Існуючі способи полірування засновані на механічному або електрохімічному способі видалення матеріалу, або ж на їх комбінації. Механічне полірування ведуть на полірувальному верстаті (рис. 3.1), диск діаметром 200-250 мм який обтягнутий тканиною (фетр, оксамит, тонке сукно). Тканину періодично поливають водною суспензією, що містить дрібні абразивні частки оксидів алюмінію, хрому або заліза. Добрим полірувальним матеріалом є алмазні пасти, паста ГОІ. Коли поверхня набуває дзеркального блиску, полірування припиняють. На якісно відполірованому мікрошліфі при спостереженні під мікроскопом відсутні риси, подряпини та інші механічні дефекти.



Рисунок 3.1 – Полірувальний верстат

Для виявлення мікроструктури металу зразок піддають травленню. Перед цим поверхню мікрошліфа обезжирюють спиртом. В результаті травлення мікрошліф отримує складний мікрорельєф, що характеризує будову металу та різних складових структури. Виявлення структури сплавів може проводитися шляхом хімічного або електрохімічного травлення, іонного бомбардування, методами вакуумного випаровування або окислення. Вибір методу виявлення структури, режиму травлення та складу травників визначається природою сплаву і метою дослідження.

Створення мікрорельєфу при травленні визначаються тим, що реактив неоднаково діє на різні структурні складові сплаву. Навіть в однофазному сплаві зерна мають різну кристалографічну орієнтацію, тому в поверхні мікрошліфа зерна будуть зрізані по різних кристалічних площинах, які будуть травитись неоднаково. Межі зерен металу, що мають недосконалу кристалічну будову і збагачені домішками, протравлюються сильніше. Більш глибоко протравлені ділянки сильніше розсіюють світло і виглядають більш темними. В випадку багатофазних сплавів ступінь травлення відрізнятиметься сильніше.

З наплавлених валиків вирізали повздовжні зразки для дослідження структури та фазового складу металу швів, а також вимірювання мікротвердості. Для травлення шліфів використовували 4% розчин азотної кислоти в спирті. Склад травителя: 20 мл. HCl , 1 м $CuCl_2$, 15 мл. H_2O , 65 мл. C_2H_5OH .

В процесі травлення, на досліджуваний об'єкт здійснювалося тимчасовий вплив, за умови однакового температурного. Температурний вплив здійснювалося в діапазоні 20-25 °C. Час травлення варіювалося від 15 секунд до 1 хвилини і залежало від хімічного складу зразка. Протравлені шліфи оглядалися і фотографувалися на спеціальному оптичному металографічному мікроскопі марки Olympus GX51, забезпеченого аналізатором зображень SIAMS 700.

Для дослідження мікроструктури використовувався спеціальний прилад металографічний мікроскоп, наведено на рисунок 3.2. Цей прилад є однією з перспективних розробок одночасно він символізує і відображає собою новітнє покоління універсальних мікроскопів.

Його унікальність зумовлена використанням наскрізного оптико-цифрового каналу спостереження, що в свою чергу, по суті є, функціонально закінченою системою не тільки спостереження, але також реєстрації і навіть обробки одержуваних мікрозображень.

До того ж він володіє і іншими важливими характеристиками, такими як, малогабаритність, простота в зверненні, універсальність і переносимість. Цей унікальний прилад має можливість працювати як на прозорих, так і непрозорих об'єктах. Його настройки дозволяють проводити дослідження не тільки спеціально підготовлених металографічних шліфів, а й шліфи з необробленими поверхнями з шорсткістю до 5 мкм в прямому, косому і поляризованому світлі.



Рисунок 3.2 – Мікроскоп Olympus GX51, забезпеченого аналізатором зображень SIAMS 700

Додатковим унікальним параметром розглянутого приладу, і цілком заслуженим досягненням розробників є створення зображення з можливістю збільшення до 1500 крат. Додатковим бонусом служить можливість здійснення запису зображення на стаціонарний компютер або знімний носій (по типу універсальної карти пам'яті). Унікальні можливості і характеристики в значній мірі нарощують і поглиблюють сфери його спецпрімененій. Таким чином, його створення дозволило вирішувати множинні тріботехніческіє завдання, подібні вивчення структури поверхонь, зносу і тертя, а також досягнення присадок в рідких маслах, пошуків в області морфологічних особливостей поверхонь внаслідок різноманітних актуальних технологічних впливів і застосування нанотехнологій.

Принцип роботи мікроскопа Olympus GX51. Світло відбивається від поверхні зразка і потрапляє в об'єтив. Тому що відобразили світло елементи зразка приблизно нормальні оптичної осі мікроскопа; що відображають елементи, розташовані під кутом до оптичної осі мікроскопа, пошлють світлові промені поза об'єктивом. У зв'язку с цим на кінцевому зображенні зразка, створюваному окуляром, все що відбивають світло елементи будуть світлими, а всі похилі - темними. Завдяки цьому виявляються різні структурні складові металографічних шліфів, наприклад, межі зерен, які при підготовці зразка витравлюються в канавки з нахиленими до поверхні шліфа бічними сторонами.

Якість зображення мікроскопа залежить головним чином, від параметрів об'єктивної лінзою. Об'єктивна лінза повинна володіти рядом необхідних характеристик:

- збільшення;
- роздільна здатність, де головну роль грає властивість лінзи об'єктива розділяти близько розташовані деталі зразка;

- глибина різкості, яка характеризується величиною вертикального переміщення деталей зразка, яке може бути проведено без втрати фокусування;

- числова апертура - величина характеризує здатність лінзи збирати світлові промінь (виділяють кутову апертуру конусообразного світлового пучка, що пропускається лінзою).

3.4 Методика вимірювання мікротвердості

З метою проведення досліджень в області властивостей перетворень в сплавах, потрібно не тільки знати «середню» твердість, яка була твердість, отриману як результат сумарного впливу знаходяться в сплаві структурних складових і фаз, але і визначати твердість структур сплаву і окремих фаз.

Для цього вченими був розроблений спеціальний прилад Мікротвердоміри IT5010-01, призначений для вимірювання мікротвердості різних матеріалів, сплавів, скла, кераміки і мінералів, шляхом вдавнення в випробовуваний

матеріал алмазного наконечника з квадратною основою чотиригранної піраміди, що забезпечує геометричне і механічне подібність відбитків в міру заглиблення індентора під дією навантаження. Прилад типу IT5010-01 рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 – Стационарний твердомір ИТ 5010-01

Прилади універсальні ИТ 5010 і ИТ 5010-01 призначені для вимірювання твердості металів і сплавів по методах Віккерса і Брінелля.

Прилад ИТ 5010 без електронної відлікової системи. Прилад ИТ 5010-01 з електронної відлікової системою. Електронна відлікова система приладу ИТ

5010-01 включає в себе наступні вузли: перетворювач переміщень, службовець для виміру розмірів відбитка; вимірювальний пристрій; цифрове табло, що служить для зчитування результатів випробувань і візуального спостереження за введенням необхідних даних в програму вимірювального пристрою; кнопки управління.

Табличка 3.5 Технічні характеристики твердоміра ІГ 5010 по методу Віккерса

Диапазоны измерений твердости:		
	по методу Виккерса 8	2000 HV
	по методу Бринелля 5,6	450 HB
Испытательные нагрузки, Н (кгс)		
49,03; 98,07; 153,2; 196,1; 245,2; 294,2; 490,3; 612,9; 980,7; 1226; 1839; 2452; (5; 10; 15,6; 20; 25; 30; 50; 62,5; 100; 125; 187,5; 250)		
Пределы допускаемой погрешности испытательных нагрузок прибора, %		± 1
Время выдержки образцов под нагрузкой, с		1 - 180
Увеличение:		
	оптической системы	120-кратное
	микроскопа	24-кратное
Цена деления шкалы, мм:		1 - 180
	измерительного устройства встроенной оптической системы	0,1
	нониуса	0,01
	микрометрического винта	0,001
	переносного микроскопа, не более	0,05
Максимальная высота рабочего пространства без защитных стаканов, не менее, мм		150
Число разрядов цифрового табло прибора ИГ 5010-01		4
Потребляемая мощность для ИГ 5010, кВт		60
Потребляемая мощность для ИГ 5010-01, кВт		90
Масса для ИГ 5010, кг		140
Масса для ИГ 5010-01, кг		138
Габаритные размеры, мм		635x335x810

Для перегляду мікрошліфа при збільшеннях у 135 і 478 разів прилад забезпечений двома об'єктивами. Окуляр збільшує в 15 разів.

Окулярний мікрометр забезпечений спеціальною кареткою з рухомою сіткою, залишковий мікрометричний барабанчик і нерухому сітку. На цій сітці довжиною 5 мм завдано кутник з прямим кутом, вершина якого совпадає з цифрою 0 і штрихи з цифрами. На рухомій сітці нанесені дві ризики і косинець з прямим кутом.

Пірамідка з алмазу має між гранями кут при вершині 136° , т. Е. Такий же, як і в пірамідці для вимірювання по Віккерсу. Навантаження для вдавнення пірамідки створюється вантажами, встановленими на штоку. Для проведення вимірів використовуються вантажі вагою в діапазоні от 1 - 200 г залежно від особливостей завдань дослідження і досліджуваної структури. Через окуляр переглядають встановлений мікрошліф.

З метою розширення меж проведених досліджень була передбачена можливість переміщення мікрошліфа в двох перпендикулярних напрямках і вибору на ньому будь-якої ділянки для вимірювання твердості. Обраний ділянку необхідно розміщувати по центру поля зору мікроскопа - точно в вершині кута нерухомою сітки. Далі проводиться установка вантажів, після чого за допомогою ручки здійснюється переміщення столика на 180° (рухаючи його від одного упору до іншого) для забезпечення наближення вибраної ділянки зразка строго під алмазну піраміду. Потім повільним поворотом ручки і ждьом тривалістю від 10 до 15 секунд орієнтовно на 180° опускають шток з алмазної пірамідою так, щоб алмазний конус доторкнувся до поверхні досліджуваного зразка. У цьому положенні впливають на зразок від 5 до 10 секунд, в подальшому, повертаючи ручку в початкове положення, піднімають шток з алмазом. Наступним етапом столик знову розгортають на 180° повертаючи досліджуваний зразок в початкове положення, розташували його прямо під об'єктив мікроскопа з метою проведення вимірювання діагоналі відбитка.

При правильній центрування кліше відбитка має виявитися в поле зору мікроскопа, або воно буде розташовуватися в безпосередній близькості до

вершини кута нерухомою сітки. Точність збігу місця, обраного для проведення випробування, з місцем фактичного вдавнення конуса становить не більше 3 мкм.

Шляхом обертання гвинтів, отриманий відбиток лівим кутом підсувають до вершини косинця нерухомою сітки таким чином, щоб вони співпали, поєднуючи також пунктирні лінії кутника з гранями лівій частині відбитка.

Після цього обертанням мікрометричного барабана окуляра підводять вершину кутника рухомий сітки до протилежного кута відбитка; тоді пунктирні лінії кутника рухомий сітки сполучаться з гранями правій частині відбитка. При такому положенні сіток поділу мікрометричного барабанчика показують довжину діагоналі відбитка. Керуючи окуляром і змінюючи його положення на 90 °, отримують довжину другої діагоналі. Що дозволяє розрахувати середню довжину діагоналі. Обчислену середню довжину переводять по таблиці на число твердості. Вищевказані вимірювання отриманого відбитка виробляють не менше двох-трьох разів. Числа твердості в таблиці обчислені за формулою:

$$HV = 1,854 \cdot P / d^2 \text{ кт} \cdot \text{с} / \text{мм}^2$$

З метою отримання найбільш точного результату виміри твердості досліджуваного ділянки мікрошліфа повинні проводитись не менше двох трьох разів.

Для цього слід проводити не менше двох вдавнень на площі одного з зерен, таким чином, щоб на ньому розташовувалося не менше двох відбитків. Грунтуючись на вищевказаному правилі експериментальним шляхом підбирають величину тиску.

При цьому існує ймовірність того, що дуже малих навантажень (менше 20 кгс) точність результатів значно знижується. Розробниками приладу була передбачена можливість фотографувати мікроструктуру сплаву з отриманими відбитками.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Після проведення усіх вище перелічених технологічних процесів, також провели наплавлення чотирма способами результати вказані в Табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати наплавлення

Метод наплавлення	Спосіб наплавлення	Витрати газу і режими	Маса пластини, г		Маса наплавленого металу, г	Маса дроту г		Маса витраченого дроту Бдр, г	Час наплавлення t, с	Довжина шва, см	Товщина пластини, мм	Висота валика, мм	Ширина валика, мм	Площа поперечного перерізу шва F, мм	ККД, %	Потужність полум'я, Вт/год	Витрати на розбрикування, %	Маса розплавленого металу, г
			До наплавлення	Після наплавлення		До наплавлення	Після наплавлення											
Ацетелено-киснев	Лівий	200 л/год	511,65	526,41	14,76	63,65	48,6	15,05	110,5	19,5	3	1	13	9,75	98,07309	2944,44	1,92691	40,59
	Правий	200 л/год	475,55	511,65	36,1	101,3	63,65	37,65	133	19	3	1	10	7,5	95,88313	2944,44	4,116866	99,275
Воднево-кисневий	Правий	1011,2 л/год	890,1	914,5	24,4	59,15	33,15	26	65	12,7	3	3	14,5	32,625	93,84615	3600	6,153846	67,1
	Лівий	1011,2 л/год	841,4	890,1	48,7	108,8	59,15	49,65	100	20	3	3	13	29,25	98,08661	3600	1,913394	133,925
Воднево-киснева плазма	Лівий	600 л/год	840	890	50	108	60	48	50	100	3	2	14	21	104,1667	4000	-4,16667	137,5
TIG	Лівий	70 А	441,3	454,85	13,55	111,6	97,9	13,7	152	10,5	3	1	6	4,5	98,90511	2240	1,094891	37,2625
	Правий	70 А	454,85	465,3	10,45	97,9	87,2	10,7	154	14,5	3	2	5	7,5	97,66355	2240	2,336449	28,7375

4.1 Аналіз твердості

Стаціонарним твердоміром ИТ5010-01 виміряв мікротвердості наплавленого реліту у різних композиційних шарах зображених на рис. 3.4. представлена мікроструктура наплавляемого прутка реліт на Ni матриці. Наплавлений валик включає три концентричних шари: верхній м'яка Ni матриця, середній зерна реліту в нижньому шарі основа Сталі 5. середній шар складається з великих зерен неоднорідної будови. Твердість різних фаз наплавленого металу вказано в Табл. 5.2.

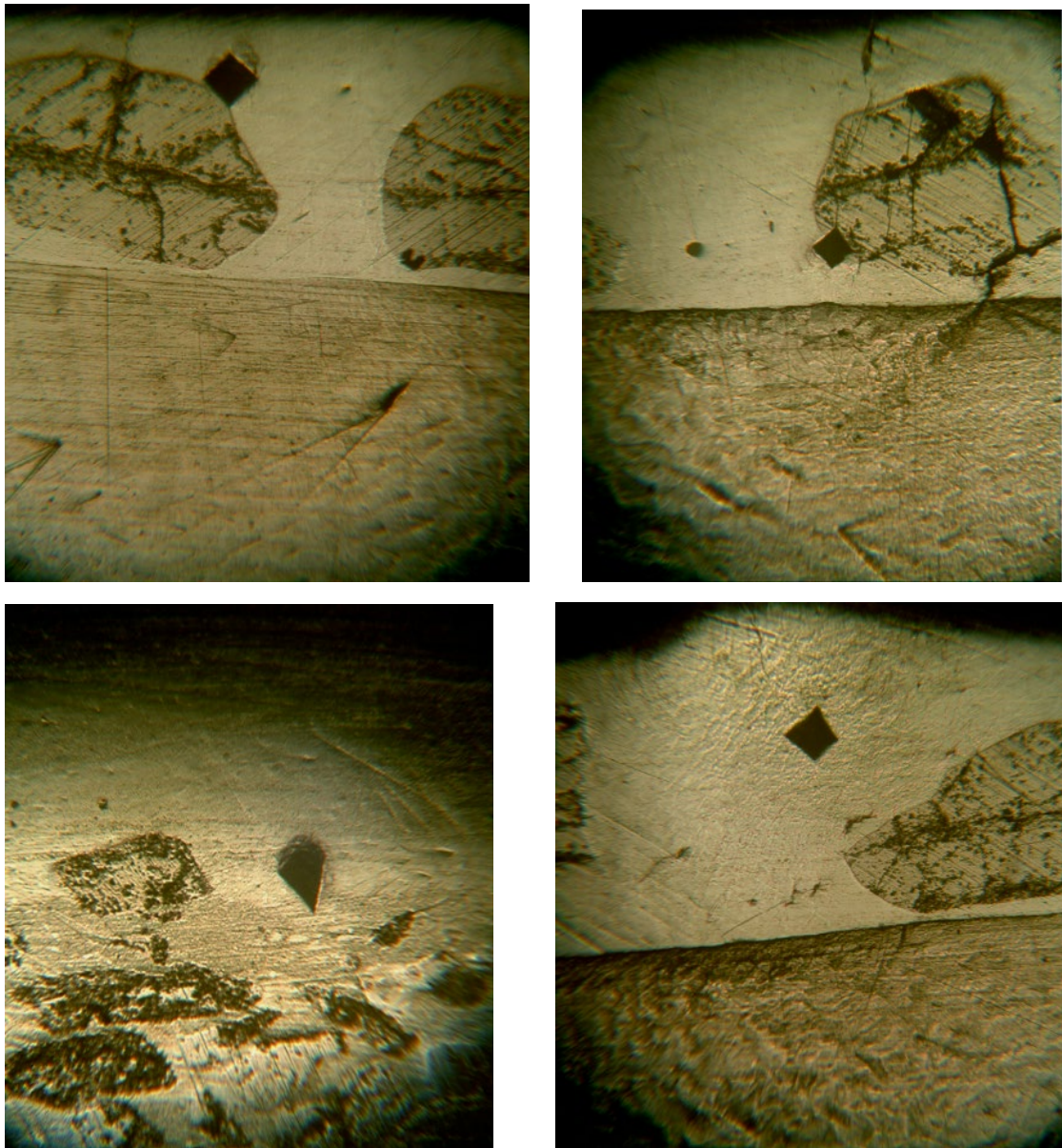


Рисунок 4.1 – Реліт (видно відбитки алмазної піраміди)

Таблиця 4.2 – Твердості наплавленого шару. Експериментальні дані

Матеріал	Діагональ відбитка пірамідки, дмкм	Навантаження, 9.807 Н (1кгс)	Час, Сек	HV
Ni-матриця	0.150	10кгс	15	824
Границя зерна реліту	0.115	10кгс	15	1355
Границя зерна реліту	0.117	10кгс	15	1402
Основний метал сталь 5	0.256	10кгс	15	283

4.2 Аналіз мікроструктури наплавленого матеріалу

Ми наплавили пруток релиту різними способами, а саме:

- Газопулуменевим;
- Воднево-кисневим полум'ям,
- Ацетелено-кисневим полум'ям.
- плазмовим з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш.
- Аргонодуговим;
- Неплавким електродом.

Також ми наплавили валики на зраски лівим і правим методами які зображені на Рисунку 4.2-4.8.



Рисунок 4.2 – Воднево- кисневе наплавлення, лівий спосіб



Рисунок 4.3 – Воднево-кисневе наплавлення, правий спосіб



Рисунок 4.4 – Ацетелено-кисневе наплавлення, лівий спосіб



Рисунок 4.5 – Ацетелено-кисневе наплавлення, правий спосіб



Рисунок 4.6 – Аргонодугове наплавлення, лівий спосіб



Рисунок 4.7 – Аргонодугове наплавлення, правий спосіб



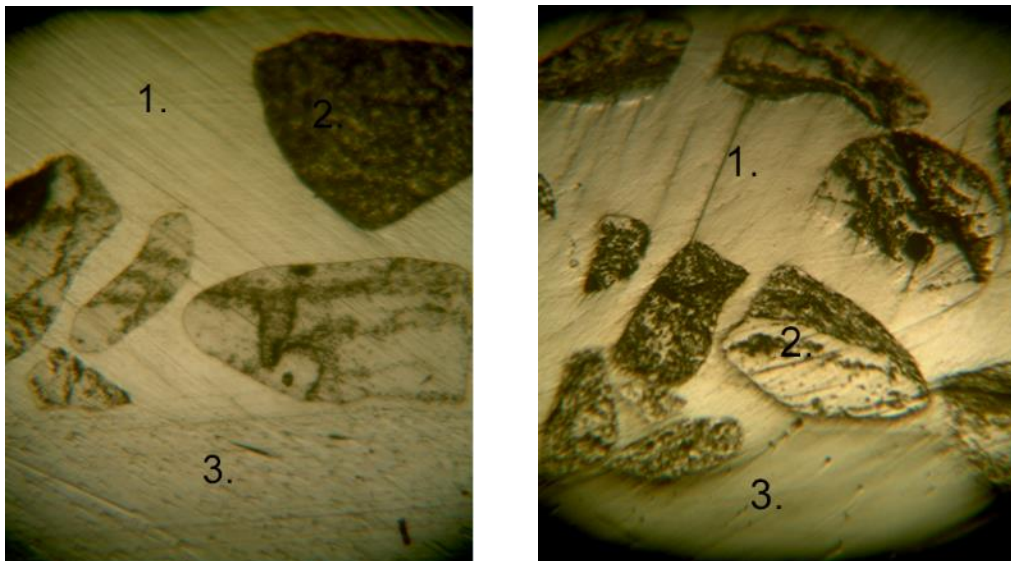
Рисунок 4.8 - Плазмовий спосіб наплавлення з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш, лівий спосіб

На фотографіях, отриманих за допомогою оптичної металографії, ми бачимо структури шести наплавлених зразків після травлення на межі зерен і травлення на тіло зерна (див.рис. 4.9-4.12). Фотографії відтворюють структуру наплавленого металу при десятикратному збільшенні. Фотографії розташовані в порядку зростання зносостійкості зразків.

Виявилося, що структури всіх досліджених наплавлень були мартенсітоподібного типу, що явно проявилось при травленні всіх зразків на

тіло зерна. Розміри зерен зразків коливалися від 10 до 50 мкм. Однак в залежності від способу наплавлення зразка на фотографіях можна помітити різну морфологію і розташування частинок. В середині і по межі зерен досліджуваних зразків можна спостерігати велику кількість дрібних і великих включень, які, ймовірно, є карбідами вольфраму, так як в хімічному складі зразків присутні сильні карбідообразуючі елементи, такі як $-Cr -WC + W_2C$, а також бор, який при відповідних умовах може утворювати бори́ди, що відрізняються високою твердістю. Наявність великої кількості включень пояснюється ще й високим ступенем легування досліджуваних зразків. Крім Cr, Mo, B в складі наплавлювальних зразків присутні Si, Mn, V, N в і C в кількості 0,8-1,78%.

Зразок (а-б) Рис 4.9 має середню будову (розмір зерна, в середньому досягає 16 мкм). Межі зерен дуже вузькі, зерна ніби «притиснуті» один до одного. Зерна мають різну форму.



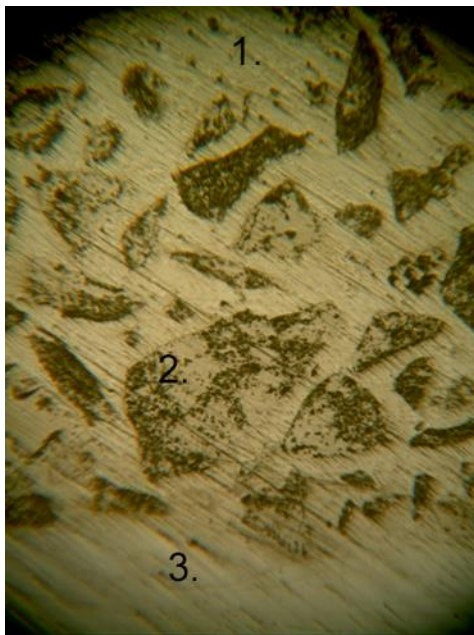
а

б

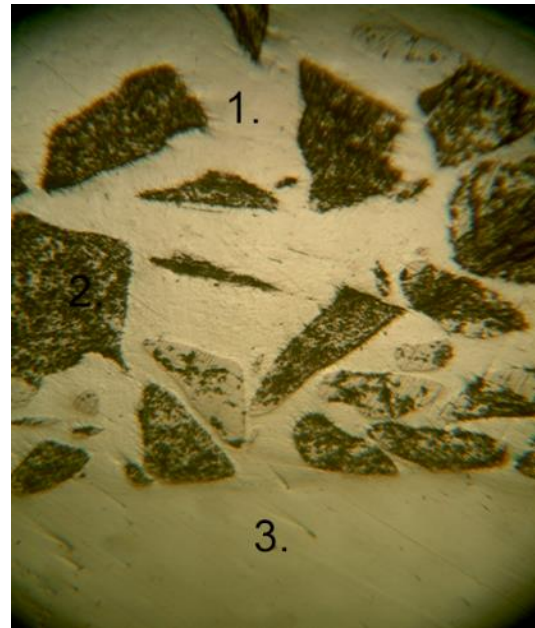
а) лівий спосіб; б) правий спосіб.

1-нікелева матриця, 2-зерна реліту, 3-основний метал Сталь 5

Рисунок 4.9 – Зображення мікроструктури. Ацетилено-кисневе наплавлення



а

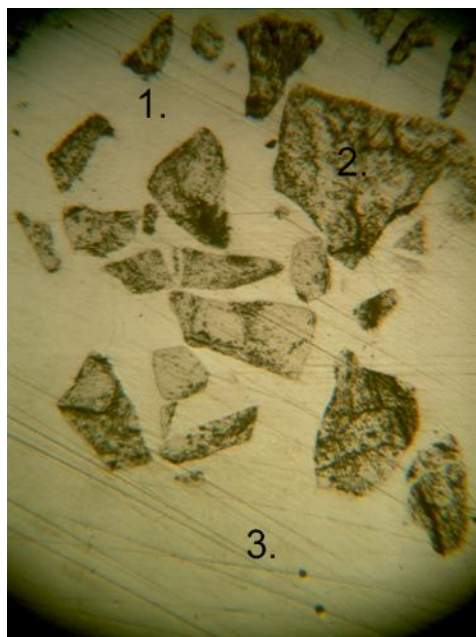


б

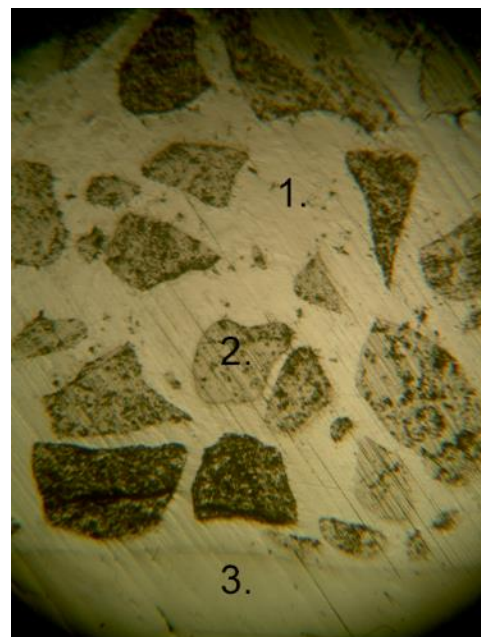
а) лівий спосіб; б) правий спосіб.

1-нікелева матриця, 2-зерна реліту, 3-основний метал Сталь 5

Рисунок 410 – Зображення мікроструктури. Воднево-кисневе наплавлення



а

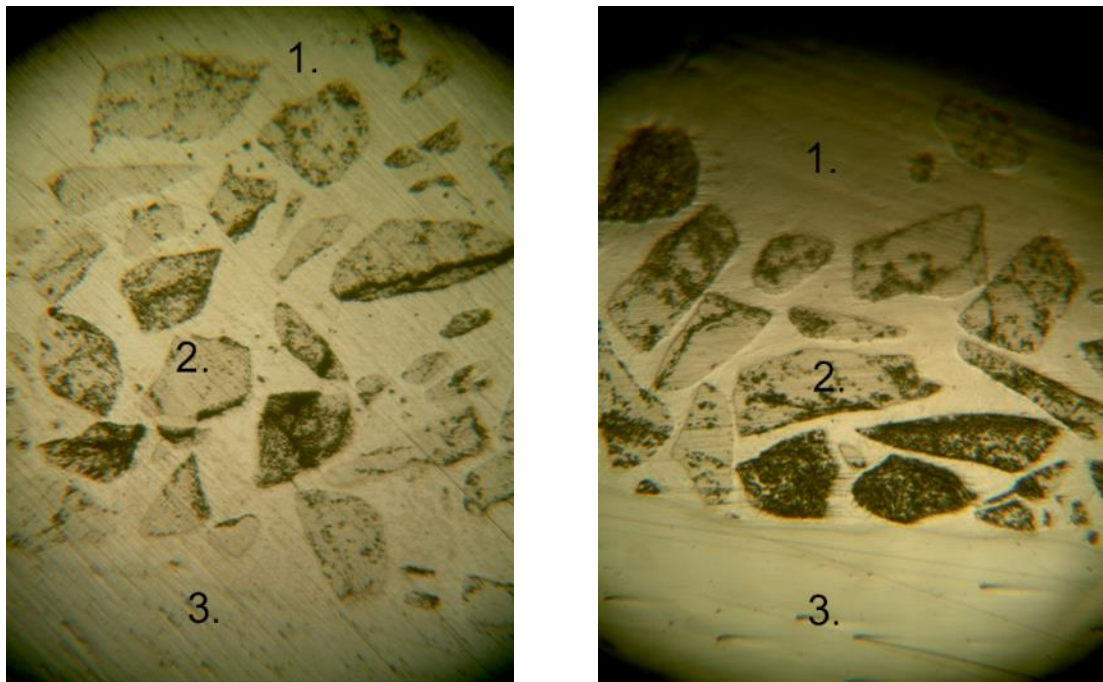


б

а) лівий спосіб; б) правий спосіб.

1-нікелева матриця, 2-зерна реліту, 3-основний метал Сталь 5

Рисунок 4.11 – Зображення мікроструктури. Наплавлення способом TIG в середовищі Ar



а

б

а) лівий спосіб; б) правий спосіб.

1-нікелева матриця, 2-зерна реліту, 3-основний метал Сталь 5

Рисунок 4.12 – Зображення мікроструктури. плазмового способу з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш

Висновок

Розподілення зерен карбіду вольфраму залежить від характеру зварювальної ванни. При збільшенні кількості енергії що вноситься в зварювальну ванну, збільшується час перебування її у рідкому стані. Через що карбід вольфраму щераз більшу щільність ніж в нкелевій матриці, встигає осісти в нижню частину ванни. Як показують досліди, саме характер зварювальної ванни впливає на просторове розподілення твердих частинок вольфрама в наплавленому шарі з використанням релітних композицій. При швидкому нагріванні і охолодженні реліт розміщується по всій периферії шва при більш довгочасному нагріванні тверда частина опускається в низ що ущільнює нижню частину твердої фази, а м'яка композиція на основі Br-Ni-Cr яка має температуру плавлення 1270 °C знаходиться в поверхневому шарі тим самим враховуючи цей фактор і можливості механічної обробки така методика дає можливість

обробляти наплавлені шари так як це пов'язано з великих втрати маси інструменту та часу обробки.

5 СТАРТАП-ПРОЕКТ

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ З РЕЛІТНИМИ КОМПОНЕНТАМИ

5.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту спрямована на розробку технології наплавлення релітних композицій на тонколезові і малогабаритні деталі і покращити їх обробку.

Ресурс роботи устаткування, що експлуатується в нафтовій, гірничо-добувній, гірничо-збагачувальній, вугільній галузях промисловості переважно визначається терміном служби деталей машин і механізмів, що працюють за умов інтенсивного абразивного, гідро-абразивного, та інших видів зношення. Сьогодні існує значна кількість технологій, що дозволяє продовжити довговічність вищезазначених деталей (термічна обробка, механічне зміцнення та ін.). Проте найбільш ефективним способом зміцнення залишаються такі методи, як наплавлення та напилення робочих поверхонь. Використання таких методів забезпечує будь які характеристики (твердість, міцність, корозійну стійкість) нанесених зносостійких покриттів завдяки, насамперед оптимально підбраному хімічному складу наплавних матеріалів. При цьому найвищу зносостійкість при роботі в зазначених умовах мають композиційні покриття на основі тугоплавких сполук.

Основою таких покриттів є зносостійкі частинки (армуюча фаза) карбідів, нітридів та інших сполук, що мають високі показники твердості й міцності, які закріплені в більш м'якій і пластичній матриці. Для створення матриці використовують різні матеріали на основі заліза, нікелю, кобальту, міді та інших металів і сплавів, що забезпечують необхідні характеристики покриття. Наплавлений шар можна наносити багатьма способами. Залежно від способу нанесення необхідно створення цілої гами присаджувальних матеріалів, до складу яких, у першу чергу, входять армуючі частинки. Найбільш

перспективним, за зносостійкістю є застосування частинок плавлених карбідів вольфраму евтектичного складу WC – W₂C.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту – розробка технології наплавлення релітних композицій на тонколезові і малогабаритні деталі і покращити їх обробку.

Зміст ідеї	Сфери застосування	Вигоди користувача
Розробка технології наплавлення релітних композицій на тонколезові і малогабаритні деталі і покращити їх обробку	Матеріали для різних машин, гірничодобувних долот, лемехів, молотків, ножів	Отримання економічного матеріалу, який здатен витримувати значні циклічні навантаження без руйнування що веде за собою довговічність конструкцій

Тому дослідження механічних властивостей наплавлення реліту неабияк актуальною. У табл. 5.2 визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи. Проведена оцінка ринку, наведена в таблиці 5.1

Таблиця 5.2 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту – розробка технології наплавлення релітних композицій на тонколезові і малогабаритні деталі і забезпечення подальших високих показників міцності

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Висока міцність матеріалу для роботи при високих навантаженнях	компанії, які виготовляють деталі гірничодобувних долот, лемехів, молотків, ножів	Стандарти, технічні регламенти, специфікації, умови експлуатації	Висока зносостійкість, низька собівартість, більший ресурс роботи деталі
2	Висока зносостійкість деталей техніки			

При виборі способу наплавлення важливу роль відіграє ціна яка витрачається на виготовлення одиниці продукції, та обладнання. В цьому розділі порівнюється вартість цих показників для технології з використанням воднево-кисневої суміші, і для альтернативної технології наплавлення зносостійких покриттів.

5.2 Розрахунок вартості обладнання.

Вартість обладнання для обох технологій наведено в таблицях 5.3 та 5.4.

Таблиця 5.3 – Вартість обладнання для технології з використанням воднево-кисневої суміші.

Назва обладнання	Ціна, грн
Міні гідростанція НС-014-Hydronit	8000
Водневий генератор	20 000
Інвертор для плазмового різання Пурмо-400ВА	8 000
Шафа керування KR C4	20 000
АСШ-70	70 000
Стіл	2 000
Сума:	128 000

Таблиця 5.4 – Вартість обладнання для альтернативної технології.

Назва обладнання	Ціна, грн
TIG апарат ПАТОН АДІ-200S	10 000
Сума:	10 000

5.3 Витрати на матеріали

Таблиця 5.4 – Витрати на матеріали для наплавлення з розрахунку на одиницю продукції.

Матеріал	Ціна матеріалу	Альтернативна технологія, грн	Плазмове наплавлення з використанням воднево-кисневої суміші в якості плазмоутворюючого середовища, грн
Дріт	2000 грн\кг	15,41	15,41
Витрати газу для утворення плазмоутворюючого струменю	Аргон - 0,35 грн \ л;	11,42	9,25
	Воднево-киснева суміш — 0,25 грн \ л	9,56	7,54
Електроенергія	0,223 коп./кВт·год	19,52	16,31
Всього:		46,35	30,97

Аналіз результатів показав, що з економічної точки зору, процес наплавлення з використанням воднево-кисневої суміші в якості плазмоутворюючого середовища є більш раціональним, оскільки ККД набагато вищий і швидкість наплавлення більша.

Висновок

Проведена оцінка ринкових можливостей стартап-проекту «дослідження механічних властивостей поверхонь з релітними компонентами» для забезпечення подальших високих показників міцності і покращені механічної обробки. Впровадження проекту є перспективним, широкий ринок пропонує матеріалів для деталей сільськогосподарської техніки, гірничобурових і тонколезових малогабаритних деталей оскільки воно пов'язане з великою кількістю деталей які потребують зміцненню на території України. Проект потребує подальших досліджень для проведення повної оцінки його ринкових конкурентоспроможності.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Метою даного розділу є розробка заходів з охорони праці при наплавленні зносостійких матеріалів, а саме стрічкового реліту із застосуванням плазмового способу з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш, газопулуменевого способу з використанням ацетелена і водню, і аргонодугового способу. Охорона праці є невід'ємною складовою будь-якого виробництва, оскільки на даний момент виробництво неможливе без участі людини. Навіть при використанні найбільш прогресивних способів наплавлення та обладнання сам процес залишається шкідливими для здоров'я зварника. Саме тому необхідно розробити заходи по запобіганню цьому.

6.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Технологія наплавлення передбачає використання різних способи, а саме плазмовий з використанням в якості плазмоутворюючого газу воднево-кисневу суміш, газопулуменевого з використанням ацетелена і водню, і аргонодугового, що характеризується шкідливими та небезпечними виробничими факторами, які за певних умов можуть призводити до професійних захворювань робітників зварювальних професій.

Небезпечні та шкідливі чинники за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Оскільки в даній магістерській дисертації проводиться дослідження з використанням плазмового струменю в цеху, тому проаналізувавши типи ШНВФ, робимо висновок, що найбільш імовірними є фізичні та хімічні ШНВФ.

Воднево-киснева суміш складається з двох частин водню (H_2) та однієї частини кисню (O_2). Рівняння повного спалення водню в кисні: $2H_2 + O_2 = 2H_2O$. Дана суміш має підвищену вибухонебезпечність. Тому основним завданням даного розділу є вбір відповідного устаткування для уникнення вірогідності вибуху.

Також при ініціюванні плазмового струменю виникає ультрафіолетове, інфрачервоне та видиме випромінювання, яке може призвести до ураження незахищених ділянок оператора [34].

Одними з основних шкідливих факторів, які супроводжуються при роботі з плазмовим струменем це виділення шкідливих аерозолів (окис вуглецю, окисли азоту, озон) та шум.

При використанні даних способів наплавлення шкідливими виробничими факторами є:

- Шкідливі речовини;
- Випромінювання в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному оптичних діапазонах;
- Шум.

Небезпечними виробничими факторами є:

- Електричний струм;
- Іскри, бризки та викиди розплавленого металу;
- Механізми і вироби, що рухаються;
- Системи, які знаходяться під тиском, що не дорівнює атмосферному;
- балони Ar під тиском;
- балони C₂H₂ під тиском.

При наплавленні в зону дихання працюючих можуть потрапляти зварювальні аерозолі (ЗА), у складі яких присутні оксиди різноманітних металів (марганцю, хрому, нікелю, міді, титану, алюмінію, заліза, вольфраму тощо) та інші сполуки, а також токсичні гази (оксид вуглецю, оксиди азоту, озон, фтористий водень, тетрафтористий кремній та ін.) [34].

Разом з пилом в виробничому середовищі розповсюджуються і шкідливі гази, які за певних умов можуть призвести до раптового отруєння людей. Як правило, вони не визначаються візуально і в багатьох випадках не мають запаху – тому є небезпечними. Деякі досить поширені у виробничому процесі гази мають питому вагу більшу за питому вагу повітря і накопичуються у низьких ділянках приміщень (підвалах, шахтах та ін.), досягаючи значних концентрацій.

Це дуже небезпечно, бо може привести до отруєння, а в разі горючого чи вибухового газу – до вибуху або пожежі [34].

Озон (ГДК - $0,1 \text{ мг/м}^3$) чинить на організм переважно подразнюючу дію. При гострому отруєнні відзначається сухість у роті, подразливість слизових очей і носа, біль за грудьми, кашель. Більш висока концентрація (біля 20 мг/м^3) може викликати запаморочення, почуття сильної втоми, серцево-судинні порушення. Працюючі в умовах хронічної дії озону скаржаться на головні болі, підвищену дратівливість, плаксивість, зниження пам'яті, поганий сон; відзначаються вегетативні порушення (схильність до брадикардії та гіпотонії, приглушення тонів серця); явища подразнення верхніх дихальних шляхів, хронічний бронхіт, іноді астмоїдного характеру; можливо розвинення пневмосклерозу [34].

Оксиди азоту (ГДК в перерахунку на NO_2 - 5 мг/м^3) можуть викликати гостре отруєння. Симптоми: спочатку невелике подразнення слизових оболонок очей, носа, незначний кашель, головна біль. Проявлення швидко стихають, можуть пройти непоміченими. Через деякий час на фоні, начебто, нормального стану раптово розгортається токсичний набряк легень. При хронічних отруєннях відзначаються біль в грудях, кашель, біль в ділянці серця, головні болі [34].

Ацетиленово-кисневе наплавлення. Ацетилен мало токсичний, але містить дуже шкідливі домішки (фосфін, аміак, сірководень), що збільшують його токсичність. На початковій стадії наплавлення утворюється значна кількість оксиду вуглецю. Утворюються оксиди азоту. Можливе утворення вибухонебезпечної суміші при накопиченні в повітрі більше 1,5 % ацетилену.

Випадки отруєння ацетиленом бувають дуже рідко. Ацетилен наркотична речовина, але причиною отруєння є не сам ацетилен, а присутні в ньому домішки: фосфористий водень (PH_3), оксид вуглецю (CO), діоксид азоту (NO_2), аміак (NH_3) та сірководень (H_2S). Ацетилен сприймається в легенях кров'ю, але на відміну від оксиду вуглецю, не здійснює в ній прямих змін. Його впливу головним чином підлягає нервова система. В результаті тривалої дії настає ураження центра дихання, яке стає неправильним, потім настає смерть [34].

Аргонодугове зварювання. Аргон інертний газ, не засвоюється організмом; але при надходженні в легені, що можливо при аргонодуговому зварюванні, через більшу від повітря вагу може накопичуватись в нижній частині легень, що завдає труднощів при його виведенні з легень. Внаслідок цього присутність нетоксичного аргону в легенях призводить до зменшення в них необхідного для дихання кисню.

Випадки отруєння комплексом газів були зафіксовані в практиці киснево-ацетиленового зварювання і різання в невеликих недостатньо вентильованих приміщеннях та всередині котлів, трубопроводів. Під дією наркотичного ацетилену на нервову систему зварник непритомнів, отримувач отруєння оксидом вуглецю, а дія оксидів азоту призводила до набряку легень. В багатьох випадках це призводило до смертельних наслідків.

Горіння зварювальної дуги супроводжується випромінюванням яскравих світлових, невидимих ультрафіолетових та теплових інфрачервоних променів. З підсиленням сили струму спектральний склад променів не змінюється, проте інтенсивність випромінювання зростає.

Процес зварювання є потужним джерелом інфрачервоного випромінювання. Його впливу підлягають не тільки безпосередньо зварники, але й інші робочі, що знаходяться поблизу.

Опіки можуть бути викликані інфрачервоними променями. Як наслідок тривалого впливу цих променів на очі (10 – 20 років) відбувається помутніння кришталика, а це сприяє виникненню катаракти.

Джерелом енергії у процесі зварювання є зварювальний струм, що протікає у зварювальному колі, який також є небезпечним фактором для працівників.

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 [34].

6.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

Засоби індивідуального захисту

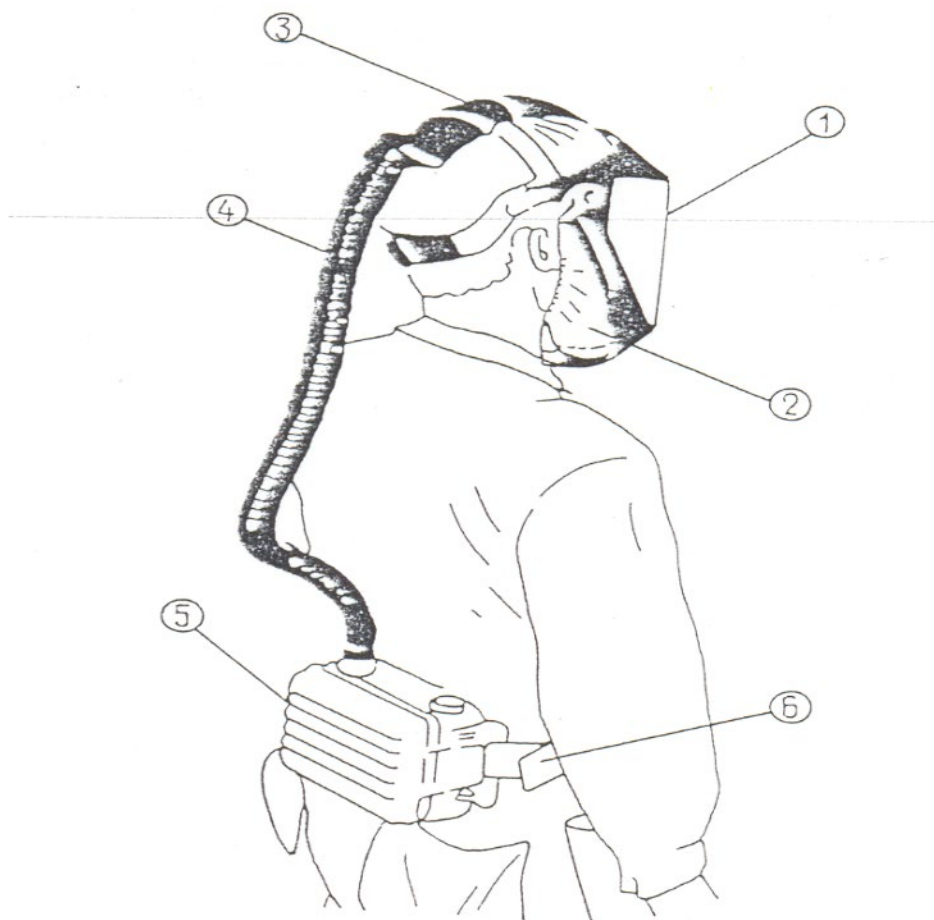
Згідно з ДСТУ 7239: 2011 «Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту» усі засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) в залежності від призначення поділяються на такі класи[34]: засоби захисту голови; засоби захисту органів слуху; засоби захисту очей і обличчя; засоби захисту органів дихання; засоби захисту рук, плеча та передпліччя; одяг спеціальний захисний (спецодяг); засоби захисту ніг та стегон; засоби захисту від падіння з висоти; засоби захисту шкіри; засоби захисту комплексні.

Захисні маски зварника з примусовим подаванням очищеного повітря

Маска повинна мати світлофільтр, що захищає очі від випромінювання зварювальної дуги; причому в її конструкції слід передбачати можливість спостереження за підготовчими операціями при виконанні зварювання без піднімання маски.

Широке розповсюдження знайшли маски зі світлофільтрами з автоматичним затемненням і системою очищення та подачі повітря в зону дихання, що забезпечують надійний захист очей, обличчя та органів дихання зварника.

Що стосується системи подачі чистого повітря під маску, то найбільше розповсюдження за кордоном знайшли портативні автономні системи, що розташовуються на поясі зварника. Такі системи складаються з електричного збуджувача тяги, який подає повітря під маску, фільтруючого блока для очищення забрудненого повітря, що забирається з робочої зони зварника, та гнучких шлангів, які з'єднують систему очищення та подачі повітря з захисною маскою (рис. 6.1).



1 – маска зі світлофільтром з автоматичним затемненням; 2 – герметизатор з тканини; 3 – пристрій подачі та розподілу повітря під маскою; 4 – повітровід; 5 – система очищення та подачі повітря з електричним живленням вентилятора; 6 – пояс

Рисисунок 6.1 –Захисна маска зварника з портативною системою очищення та подачі повітря в зону дихання

Засоби індивідуального захисту органів зору, обличчя та голови

Для захисту очей, шкіряного покриву голови і шиї від випромінювання дуги та від бризок розплавленого металу зварники використовують спеціальні ручні та наголовні щитки (маски), які виготовлені у відповідності з вимогами ДСТУ EN 169-2001. Захисні щитки складаються з корпусу, який виготовлюється з тонкого термостійкого матеріалу; оглядового скла-світлофільтра, розташованого на рівні очей; наголовника для кріплення на голові або ручки [34].

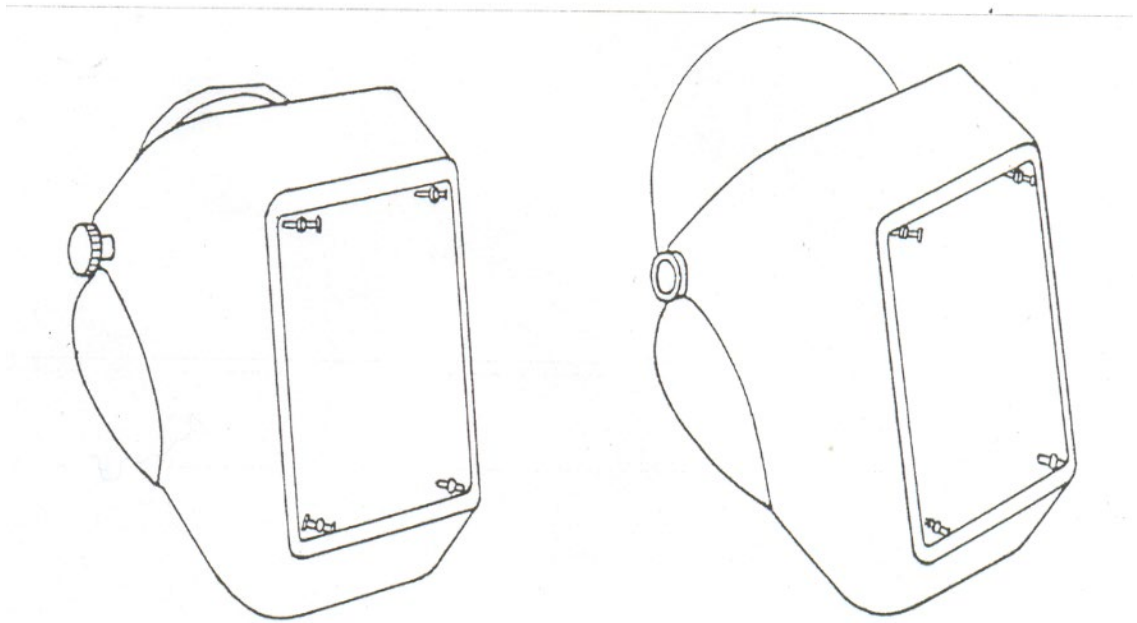
Захисні світлофільтри

Найбільш важливим та відповідальним елементом щитків є скляні світлофільтри, призначені для захисту очей від ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного випромінювання. Світлове випромінювання дуги повинно бути послаблене світлофільтрами у $10^2 \dots 10^6$ разів. При цьому світлофільтри повинні мати достатню величину пропускання у видимій ділянці спектра, що необхідно для спостереження за місцем зварювання. Якщо під час застосування фільтрів, обраних відповідно до таблиці, з'являється неприємне відчуття, то необхідно досліджувати умови праці й обстежувати зір зварювальника.

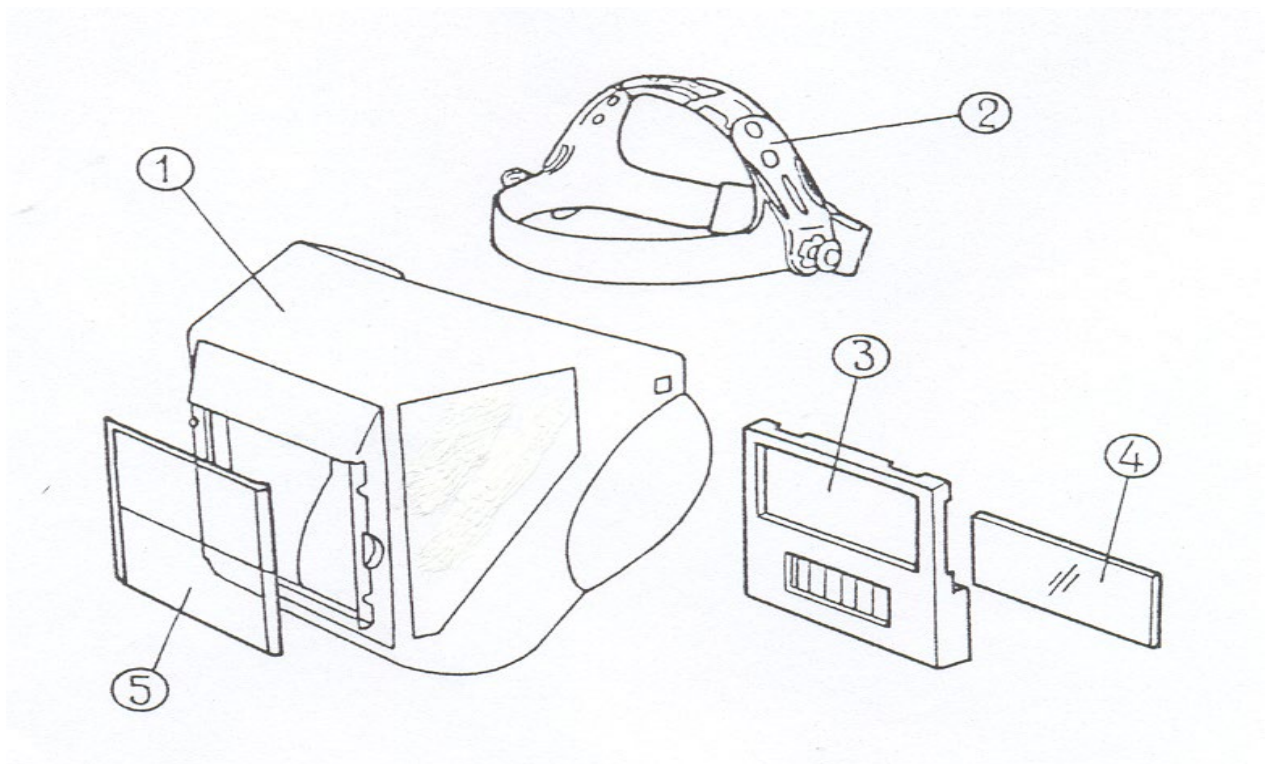
Необхідно захищати обличчя осіб, що допомагають зварювальнику, й інших, що знаходяться в тих приміщеннях, де проводяться роботи, пов'язані з електрозварюванням. Для цього варто використовувати фільтри зі ступенем захисту від 1.2 до 4 [34]. Треба застосовувати фільтри із більшим ступенем захисту, якщо це необхідно, у зв'язку з можливістю одержати ушкодження обличчя.

Захисні щитки

Пропонується використовувати захисні щитки із комбінованим світлофільтром (див.рис. 6.2). А найдоцільніше використовувати маску з автоматичним світлофільтром (рис. 6.3).



Рисисунок 6.2 – Зварювальний щиток з комбінованим світлофільтром



1 – корпус маски; 2 – наголовне кріплення; 3 – блок світлофільтра з сонячною батареєю; 4 – внутрішня підкладка з органічного скла; 5 – зовнішнє покривальне скло

Рисисунок 6.3 – Зварювальний щиток з автоматичним затемненням

Спеціальний одяг, взуття та інші засоби захисту

Спецодяг вибирається в залежності від способу зварювання і умов праці у відповідності з ДСТУ ISO 13688-2001. Одяг захисний. Загальні вимоги. Особливістю більшості костюмів для зварників є наявність захисних накладок, розташованих попереду та ззаду на куртці і брюках. Захисні накладки повинні відрізнятися високою вогнестійкістю та зносостійкістю. Тканини і матеріали, з яких виготовляють костюми, повинні мати гарні гігієнічні та захисні властивості, а також забезпечувати однаковий термін служби [34].

Вентиляція

Вентиляція – процес повітрообміну у виробничих приміщеннях, який забезпечує нормовані значення параметрів мікроклімату та чистоту повітря.

При проектуванні вентиляції необхідно дотримуватися таких вимог [34]:

1. Вентиляція повинна забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення в відповідності з ДСН 3.3.6.042-99. Загальнообмінна вентиляція повинна забезпечувати ефективний баланс між об'ємами повітря, що надходять в приміщення та видаляються з нього.

3. Система вентиляції не повинна створювати додаткових шкідливих і небезпечних факторів (переохолодження, перегрів, шум, вібрація, пожежовибухонебезпека).

4. Вентиляційне обладнання не повинно заважати рухові внутрішньоцехового транспорту, знижувати продуктивність праці, впливати на якість зварювання.

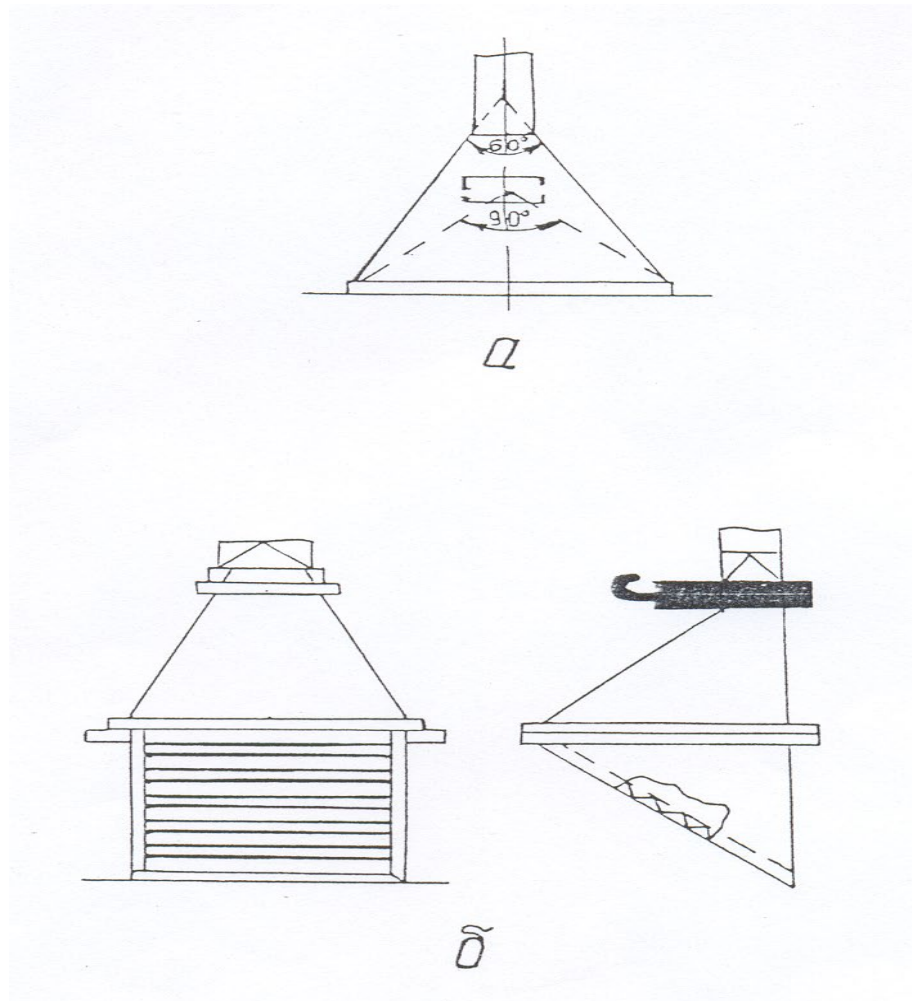
5. Вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

При значних об'ємах виробничих приміщень, невеликій кількості працюючих та наявності постійних робочих місць технічно обґрунтовано та економічно доцільно використовувати витяжну місцеву вентиляцію. Система місцевої витяжної вентиляції використовується для уловлювання та витягування

шкідливих виділень в місці їх утворення, що в свою чергу запобігає їх поширенню по всьому приміщенню від окремих апаратів або машин.

Якщо з технічних причин такі конструкції застосовувати неможливо, то використовуються напіввідкриті та відкриті відсмоктувачі: витяжні зонти і панелі, а також інші пристрої.

Наприклад, над обладнанням з вертикальними потоками нагрітого забрудненого повітря установлюють зонти (рис. 6.4 а), при наявності горизонтальних потоків повітря – бортові відсмоктувачі. Кут розкриття зонта – не більше 60° . Допускається збільшувати його до 90° . Для витягування аерозолів та газів від відкритих джерел забруднень на підприємствах установлюють також відсмоктуючі панелі (рис. 6.4 б).



а – зонт; б – панель рівномірного відсмоктування

Рисисунок 6.4 – Основні конструкції місцевої витяжної вентиляції

Швидкість повітря в отворі відсмоктувача розраховують по формулі:

$$V_o = 8 * V_x * (x/d)^2 = 8 * 1.4 * \left(\frac{0.25}{0.2}\right)^2 = 17.5 \text{ м/с},$$

де x – відстань від вхідного отвору воронки до зони зварювання, м;

d – діаметр вхідного отвору, м.

Витрати повітря, що видається відсмоктувачем, визначаються за формулою:

$$L_M = 3600 * F_o * V_o = 3600 * 0.03 * 17.5 = 1890 \text{ м}^3/\text{год},$$

де V_o – швидкість повітря в отворі відсмоктувача, м/с;

F_o – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача.

6.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

До надзвичайних ситуацій, що можуть статися на виробництві, належать: пожежа; вибух; розрив або руйнування обладнання; викид шкідливих речовин та ін. Для того щоб запобігти виникненню надзвичайних ситуацій, повинен бути план локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій. Для аналізу небезпеки потрібно визначити усі імовірні аварійні ситуації, які можуть виникнути та розглянути сценарії їх розвитку, а також оцінити наслідки.

6.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека забезпечується системами попередження пожежі, протипожежного захисту та організаційно-технічними заходами.

Відповідно до ДНАОП 0.00-1.21-приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою поділяють на п'ять категорій (А, Б, В, Г, Д). Якісним критерієм вибухопожежної небезпеки приміщень (будівель) є наявність в них речовин з певними показниками вибухопожежної небезпеки. Кількісним критерієм визначання категорії є надмірний тиск (Р), який може створитися при вибуховому загорянні максимально можливого скупчення (навантаження) вибухонебезпечних речовин у приміщенні.

Відповідно до НАПБ Б.07.005-86 приміщення, у яких проводяться зварювальні роботи, за вимогами вибухопожежної безпеки належать до категорії Г.

Категорія Г. Негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

Згідно з ДНАОП 0.00-1.21-98 та ДНАОП 0.00-1.32-01 у приміщенні виділяється пожежонебезпечна зона класу П-Па – простір у приміщенні, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали.

Клас вибухонебезпечної зони, згідно з яким здійснюється вибір і розміщення електроустановок, в залежності від частоти і тривалості присутнього вибухонебезпечного середовища, визначається технологами разом з електриками проектною або експлуатаційною організацією. Газо-пароповітряні вибухонебезпечні середовища утворюють вибухонебезпечні зони класів 0, 1, 2, а пилоповітряні – вибухонебезпечні зони класів 20, 21, 22.

Усі електричні машини, апарати і прилади, розподільні пристрої, трансформаторні і перетворювальні підстанції, елементи електропроводки, струмоводи, світильники тощо повинні використовуватися у виконанні, яке б відповідало класу зони з пожежовибухонебезпеки, тобто мати відповідний рівень і вид вибухозахисту або ступінь захисту оболонок згідно ДНАОП 0.00-1.32-01.

Рекомендується періодична очистка робочого місця та апаратури від горючих відходів, пилу. Приміщення обладнується засобами індивідуального та колективного захисту від небезпечних факторів, пожежі та протидимного захисту. Тип виконання електрообладнання в приміщенні повинен відповідати класу зони пожежо- та вибухонебезпечності.

На ділянках приміщення, де використовується зварювання, передбачено встановлення протипожежних щитів з вогнегасниками, баграми, ломами, відрами, сокирами. Біля щитів передбачено ящики наповнені піском, сухість

якого перевіряється регулярно. Також передбачено наявність азбестових покривал для гасіння можливих пожеж.

6.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пробією електричної напруги на корпус зварювальної установки, необхідно терміново вимкнути рубильник і повідомити про це майстра або начальника ділянки.

У випадку потрапляння людини під напругу, необхідно відключити зварювальну установку від мережі, покласти потерпілого на дерев'яний настил підклавши під голову ватник та викликати швидку допомогу. Якщо необхідно, надати потерпілому першу допомогу.

У випадку загорання зварювальної установки, відключити рубильник і приступити до гасіння пожежі за допомогою вогнегасника.

Кожен робітник або особа, яка виявила пожежу або загорання, зобов'язаний:

- негайно сповістити про це пожежну охорону;
- приступити до гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння;
- викликати на місце пожежі посадових осіб.

У випадку отримання травми необхідно повідомити майстра або начальника ділянки та звернутися у медичний пункт за допомогою[34].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації ми порівняли чотири способи наплавлення стрічкового реліту ЛС 6-7 і порівняли наплавлені валики між собою, ми дослідили наплавлений матеріал зробили повздовжній переріз швів зразків, після шліфування і полірування ми протравили зразки порівняли мікроструктуру наплавлених валиків і виміряли твердіст наплавленого шару в різних фазах.

Розподілення зерен карбиду вольфраму залежить від характеру зварювальної ванни. при збільшенні кількості енергії що вноситься в зварювальну ванну, збільшується час перебування її у рідкому стані. через що карбід вольфраму щераз більшу щільність ніж в нкелевій матриці, встигає осісти в нижню частину ванни. як показують дослід, саме характер зварювальної ванни впливає на просторове розподілення твердих частинок вольфрама в наплавленому шарі з використанням релітних композицій. при швидкому нагріванні і охолодженні реліт розміщується по всій периферії шва при більш довгочасному нагріванні тверда частина опускається в низ що ущільнює нижню частину твердої фази, а м'яка композиція на основі BR-NI-CR яка має температуру плавлення 1270 °C знаходиться в поверхневому шарі тим самим враховуючи цей фактор і можливості механічної обробки така методика дає можливість обробляти наплавлені шари так як це пов'язано з великою втратою маси інструменту та часу обробки.

Розробивши стартап проект ми побачили наскільки данні методи перспективні на теперішньому ринку України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зайцев В.И., Грицай Л.М., Моисеев А.А. Судовые паровые и газовые турбины. – М.: Транспорт, 1981. – 311 с.
2. Коцкулич Я.С. Буріння нафтових і газових свердловин: Підручник / Я.С. Коцкулич, Я.М. Кочкодан. – Коломия: ВПТ "Вік", 1999. – 504 с.
3. Самсонов Г. В., Витрянюк В. Н., Чаплыгин Ф. И. Карбиды вольфрама. – Киев: Наук. думка, 1974. – 127 с.
4. Pierson H. O. Handbook of Refractory Carbides and Ni-trides. – New Jersey: Noyes Publications, 1996.
5. WOKA Carbide materials for wear protective. Welding and PTA applicftions: Bull.
6. DURUM VERSCHLEISS – SCHUTZ GmbH Products and services: Bull. 2013
7. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Металлургия, 1976. – 528 с.
8. VAUTID – HardfacingMfterials. VAUTID – VERSCHLEISS– Technik. H. Wohl GmbH. Dull. 2000.
9. Меерсон Г. А., Зеликман А. Н. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1973. – 608 с.
10. M. Dignard Nicolas, I. Boulos Maher. Ceramic and metallic powder spheroidization using induction plasma technology. Plasma Technology Research Center (CRTP) // Materials of the United Thermal Spray Conf. (15–19 Sept., 1997. – Indi-anapolis, USA).
11. Bourdin E., Fauchais P., Boulos M. Induction plasma tech-nology // International J. of Heat and Mass Transfer. – 1983. –26(4). – P. 567–582.
12. Pawlovski L. The Sci. and Eng. of Thermal Spray Coatings. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1995. – 73 p.
13. Muns R. Patriculate systems, Montreal: McGill University, 1995. 98 P.

14. А. с. 1381840 СССР. Установка центробежного распыления стержней из тугоплавких материалов / А. П. Жудра, А. И. Белый, В. И. Дзыкович и др. – Заявл. 10.07.86; Оpubл. 15.11.87.
15. Пат. 20516 А В22F 9/10 Украина. Способ получения гранулированных тугоплавких материалов / К. А. Ющенко, А. П. Жудра, А. И. Белый и др. – Заявл. 14.10.94; Оpubл. 15.07.97.
16. Дзыкович В. И., Жудра А. П., Белый А. И. Свойства порошков карбидов вольфрама, полученных по различным технологиям // Автомат. сварка. – 2010. – № 4. – С. 28–31.
17. Howards A. Some characteristics of composite tungsten car-bide weld deposits // Welding J. – 1951. – № 2. – P. 144–162.
18. Фрумин Е. И., Жудра А. П., Пащенко М. А. Физико-химические процессы при наплавке ленточным релитом // Свароч. пр-во. – 1979. – № 8. – С. 11–13.
19. Жудра А. П., Махненко В. И., Пащенко М. А. Особенности автоматической дуговой наплавки композиционных сплавов // Автомат. сварка. – 1975. – № 8. – С. 16–19.
20. Plasma transferred arc overlays reduce operating costs in oil and processing / D. Happer, M. Gill, K. Wid Hart, V. Anderson // TISC 2002 Intern. sp. cent., Essen, Germany, May 2002. – Essen, 2002. – P. 278–293.
21. Сом А. И. Плазменно-порошковая наплавка композиционных сплавов на базе литых карбидов вольфрама // Автомат. сварка. – 2004. – № 10. – С. 49–54.
22. Гладкий П. В. Исследование и разработка технологии плазменно-порошковой наплавки: Дис. □ канд. техн. наук. — Киев, 1972. — 233 с.
23. Федорченко И. М., Андриевский Р. А. Основы порошковой металлургии. — Киев: Изд-во АН УССР, 1963. — 420 с.
24. Жудра А. П. Исследование и разработка материалов для наплавки композиционных сплавов, стойких в условиях интенсивного абразивного износа: Дис. канд. техн. наук. — Киев, 1980. — 210 с.

25. Сферический релит. Способ получения и свойства / Ю. А. Юзвенко, Е. И. Фрумин, М. А. Пащенко и др. // Порош. металлургия. — 1975. — № 7. — С. 1–5.
26. Юзвенко Ю. А. Исследование и разработка материалов и технологии механизированной наплавки открытой дугой: Дис. □ д-ра техн. наук. — Киев, 1978. — 507 с.
27. Юзвенко Ю. А., Жудра А. П., Фрумин Е. И. Абразивный износ композиционных сплавов // Автомат. сварка. — 1973. — № 7. — С. 62–63.
28. Корж В. М. Газотермічна обробка матеріалів: Навчальний посібник. — К.: Вид. “Арістей”, 2005. - ____ с. іл.
29. Евсеев Б. Г. Гимоненко Д. Л. Оборудование и технология газопламенной обработки металлов и неметаллических материалов. -М.: Ма-остросиие, 1974. -312 с.
30. Исаенко И. А. Гуськов В. И. Справочник газоретчика. Донецк Донбасс, 1983. -160 с.
31. Катаев А. М. Катаев Я. А. Справочная книга сварщика. -М: Маши-ностроение, 1985. -256 с.
32. Нафоров Н. Ии, Нешумова С. П. Антонов И. А Справочник молодого газосварщика. -М.: Высш. шк. 1991.-240 с.
33. Корж В. Н, Прохоров В. И. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Газопламенная обработка металлов», -К. КПИ, 1980. -36 с.
34. Левченко О. Г. Охорона праці та цивільний захист Курс лекцій для студентів зварювальних спеціалізацій; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. — 370 с.
35. Паспорт и инструкция по эксплуатации. Аргонодуговой инвертор цифровой ПАТОН АДИ-200S [Текст] / ОЗСО им. Е.О. Патона с 1959 года. — 37 с.

ДОДАТКИ