

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

Зварювальний факультет

Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»
УДК 621.793.74

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

І.В. Смирнов

«06» 12 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

на тему: «Підвищення зносостійкості штоку бурових насосів
плазмовим напilenням»

Виконала:

студентка II курсу, групи ЗП-81мп
Короленко Марина Володимирівна

Керівник:

Доц. каф. інженерії поверхні, к.т.н., доц. Чорний А.В.

Консультант з охорони праці:

Зав. каф. охорони праці, промислової та цивільної безпеки
д.т.н., проф.,
Левченко О.Г.

Рецензент:

Доц. каф. ЕЗУ
к.т.н., доц. Пірумов А.Є.

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

Студентка

Короленко М.В.

Реферат

Актуальність теми. В сучасному світі розвиток нафтогазовидобувної промисловості досягає швидких темпів. Як наслідок, велике значення мають властивості деталей та машин, які використовуються в даній промисловості. Саме тому виготовлення штоків бурових насосів має таке важливе значення в наш час.

Дана деталь піддається надлишковим навантаженням з дією агресивних середовищ, тож підвищення зносостійкості є відповідальною операцією, тому вирішенням даної проблеми з застосуванням нових технологій і підходів. Завдяки вдосконаленому і, як наслідок, більш ефективному технологічному процесу, можливо збільшити зносостійкість, надійність та підвищити термін експлуатації деталей та вузлів насосного обладнання.

Мета і задачі дослідження. Метою даної дисертації є перегляд застарілих основ базових технологічних процесів напилення, які є менш ефективними, неекономічними та використовуються в сучасному світі. Вдосконалити та покращити технологію для досягнення більшої продуктивності, економічності та перспективності за допомогою нових, перспективних та сучасних матеріалів та обладнання. На ряду з підвищенням кількісно-якісних показників, стояло важливою задачею забезпечення та дотримання, при проектуванні нового процесу напилення, покращених вимог охорони праці та розробки для неї стартап-проекту.

Для досягнення мети в роботі виконані наступні завдання проекту:

- проведення конструктивно-технологічного аналізу виробу;
- використання удосконалених матеріалів нанесення покриття, які задовольняють механічні та фізичні властивості використовуваної деталі;
- визначення технологічного обладнання, необхідного для проведення процесу нанесення зносостійкого покриття;
- визначити безпечні та нешкідливі умови праці при проведенні технологічного процесу зміцнення, розробити заходи для забезпечення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – шток бурового насосу.

Предмет дослідження – технологічний процес підвищення зносостійкості штоку бурового насосу.

Методи дослідження.

Розробка нового технологічного процесу плазмового напилення виробу на основі конструктивно-технологічного аналізу базового технологічного процесу. Також розробка розділу охорони праці та стартап – проекту магістерської дисертації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Розроблено технологічний процес підвищення зносостійкості штоку бурового насосу плазмовим напиленням самофлюсівного покриття системи Ni-Cr-B-Si (на основі порошку Пг-10Н-01) з додаванням наноконпоненту оксиду алюмінію (Al_2O_3) в кількості 0,2–1,0 об.%, сприяє підвищенню зносостійкості покриттів в 2,8–5,7 рази та підвищенню мікротвердості на 18–34%.

Практичне значення одержаних результатів. Підвищенні терміну експлуатації деталі, яка обробляється, пришвидшення процесу виготовлення і, в результаті, досягти збільшення виробничої програми та одночасно знизити витрати на виготовлення готової одиниці продукту за рахунок використання вдосконаленої технології процесу на виробництві.

Магістерська дисертація представлена: розрахунково-пояснювальною запискою та графічною частиною. Розрахунково-пояснювальна записка складається з реферату, 5-ти частин, висновків, переліку посилань, та додатків. Обсяг роботи: 78 арк. формату А4 та графічної частини – 8 аркушів.

Ключові слова: плазмове напилення, шток, зносостійкість, самофлюсівний порошок.

Abstract

Actuality of theme. In today's world, the development of the oil and gas industry is at a rapid pace. As a consequence, the properties of parts and machines used in the industry are of great importance. That is why the manufacture of drill pump rods is so important today.

This part is subjected to excess load with the action of corrosive environments, so increasing durability is a responsible operation, so solving this problem with the use of new technologies and approaches. Due to the improved and, consequently, more efficient technological process, it is possible to increase the durability, reliability and increase the service life of parts and components of pumping equipment.

The purpose and objectives of the study. The purpose of this dissertation is to review the obsolete basics of basic sputtering processes that are less efficient, uneconomical, and used in the modern world. Improve and improve technology to achieve greater productivity, economy and promise with new, advanced and up-to-date materials and equipment. Along with improving the quantitative and qualitative indicators, it was an important task to ensure and adhere to, when designing a new spraying process, improved safety requirements and developing a startup project for it.

In order to achieve this goal, the following project objectives were fulfilled:

- structural and technological analysis of the product;
- the use of advanced coating materials that satisfy the mechanical and physical properties of the part used;
- identification of technological equipment necessary for the process of application of wear-resistant coating;
- to determine safe and harmless working conditions during the technological process of strengthening, to develop measures to ensure occupational health and safety in emergencies.

The object of study is the stem of the drilling pump.

The subject of the study is the technological process of increasing the wear resistance of the drill pump stem.

Research methods.

Development of a new technological process of plasma spraying of the product on the basis of structural and technological analysis of the basic technological process. Also, the development of a section on occupational safety and a startup project for a master's thesis.

The scientific novelty of the obtained results is the following:

The technological process of increasing the wear resistance of the drill pump stem by plasma spraying of self-flux coating of Ni-Cr-B-Si system (based on Pg-10H-01 powder) with the addition of aluminum oxide (Al_2O_3) nanocomponent in the amount of 0.2-1.0 vol.% , contributes to the increase of the wear resistance of coatings by 2.8-5.7 times and the increase of microhardness by 18-34%.

The practical significance of the results obtained. Increasing the life of the workpiece that is being machined, accelerating the manufacturing process and, as a result, achieving an increase in the production program while reducing the cost of manufacturing the finished unit of the product through the use of advanced manufacturing process technology.

Master's dissertation is presented: payment and explanatory note and graphic part. The explanatory note consists of an abstract, 5 parts, conclusions, a list of references, and appendices. Volume of work: 78 sheets. A4 size and graphic part - 8 sheets.

Keywords: plasma spraying, stock, wear resistance, self-fluxing powder.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Аналітичний огляд, стан проблеми.....	10
1.1 Аналіз умов роботи та видів спрацьовування штоку компресора.....	10
1.2 Аналіз методів та матеріалів для нанесення зносостійких покриттів	14
2 Обладнання, матеріали та методики проведення досліджень.....	25
2.1 Обладнання для нанесення покриття.....	25
2.2 Плазмовий розпилювач для нанесення покриття	27
2.3 Методики дослідження властивостей покриттів	31
3 Технологічно - дослідницький розділ	39
3.1. Визначення параметрів процесу нанесення покриття.....	39
3.2. Розробка схеми технологічного процесу нанесення покриття	39
3.3 План ділянки і технологічний регламент	45
3.4 Дослідження впливу нанодисперсного порошку Al_2O_3 на формування плазмових покриттів з самофлюсівних порошків	48
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	59
4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів	59
4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці	61
4.3 Розрахунок інженерного рішення	64
4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	66
5 Стартап - проект	70
5.1 Маркетинговий аналіз стартап-проекту	70
5.2 Організація стартап-проекту.....	71
5.3 Фінансово-економічний аналіз	71
Загальні висновки.....	74

Перелік посилань.....	76
Додатки.....	80

ВСТУП

Витрати на заміну зношених штоків, ущільнень штоків бурових насосів суттєво збільшують собівартість буріння, тому підвищення їх зносостійкості та довговічності є першочерговим завданням сучасних наукових досліджень. Відомі конструкції ущільнень штоків мають низький рівень надійності, а також важко піддаються ремонтним роботам. В процесі тертя відбувається катастрофічне зношування штоків.

Сучасні тенденції розвитку машинобудівної галузі промисловості характеризуються підвищеними вимогами до якості та експлуатаційних властивостей виробів при зниженні собівартості їх виробництва.

Однією з найбільш актуальних науково-технічних проблем використання різних матеріалів у конструкціях є забезпечення якості з'єднання деталей з різnorідних металів і сплавів.

Для підвищення технічних характеристик деталі поверхневий шар виготовляється із іншого матеріалу, або поверхня виробу зазнає модифікації. Зазвичай, матеріали для нанесення покриття, що містять необхідні для модифікації речовини, мають завищену ціну та обмежене використання у промисловості. Серед перспективних нанопорошків розрізняють оксиди, карбіди, нітриди. Змінюючи розмір частинки, її морфологію або спосіб введення у покриття, яке наноситься, можна отримувати композиційні матеріали з потрібними властивостями.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД, СТАН ПРОБЛЕМИ

1.1 Аналіз умов роботи та видів спрацьовування штоку компресора

Шток бурового насоса (креслення ЗП-81мп.09.000.01) виготовляється з жароміцної релаксаційної сталі 38Х2МЮА. Дана сталь також відноситься до хромоалюмінієвих з молібденом, основними перевагами яких є висока зносостійкість та твердість після азотування. До азотування вироби з хромоалюмінієвих сталей проходять термічну обробку (загартування та високий відпуск) - для отримання комплексу механічних властивостей. При цьому необхідно, щоб температура відпуску була більшою температури азотування.

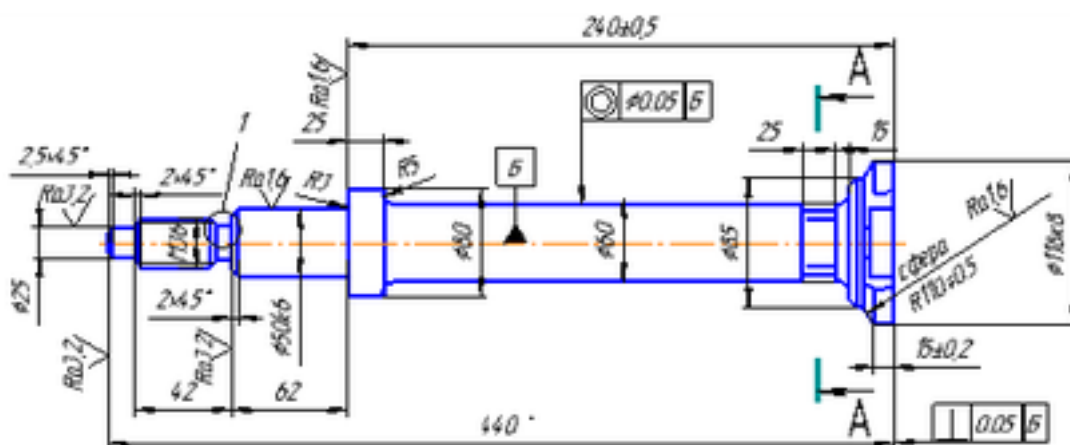


Рис. 1.1. Ескіз штока бурового насоса

Шток виготовлений зі сталі 38Х2МЮА з габаритними розмірами $\varnothing 126 \times 1885$.

Сталь жароміцна релаксаційна, використовується для виготовлення деталей, які працюють при температурах, нижче за 450°. Хімічний склад, механічні та фізичні властивості 38Х2МЮА за ГОСТ 4543-71 наведено в табл. 1.1, 1.2 та 1.3 відповідно.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 38Х2МЮА [1]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Al	Cu
0.35 - 0.42	0.2 - 0.45	0.3 - 0.6	до 0.3	до 0.025	до 0.025	1.35 - 1.65	0.15 - 0.25	0.7 - 1.1	до 0.3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 38Х2МЮА при T=20° [1]

Сортамент	σ_B МПа	σ_T МПа	δ %	ψ %	KCU кДж/м ²	Термообробка
Пруток	825	665	16.5	64	1600	Закалка 930 - 940°C, масло, відпуск 660°C, 5ч, охолодження на повітрі

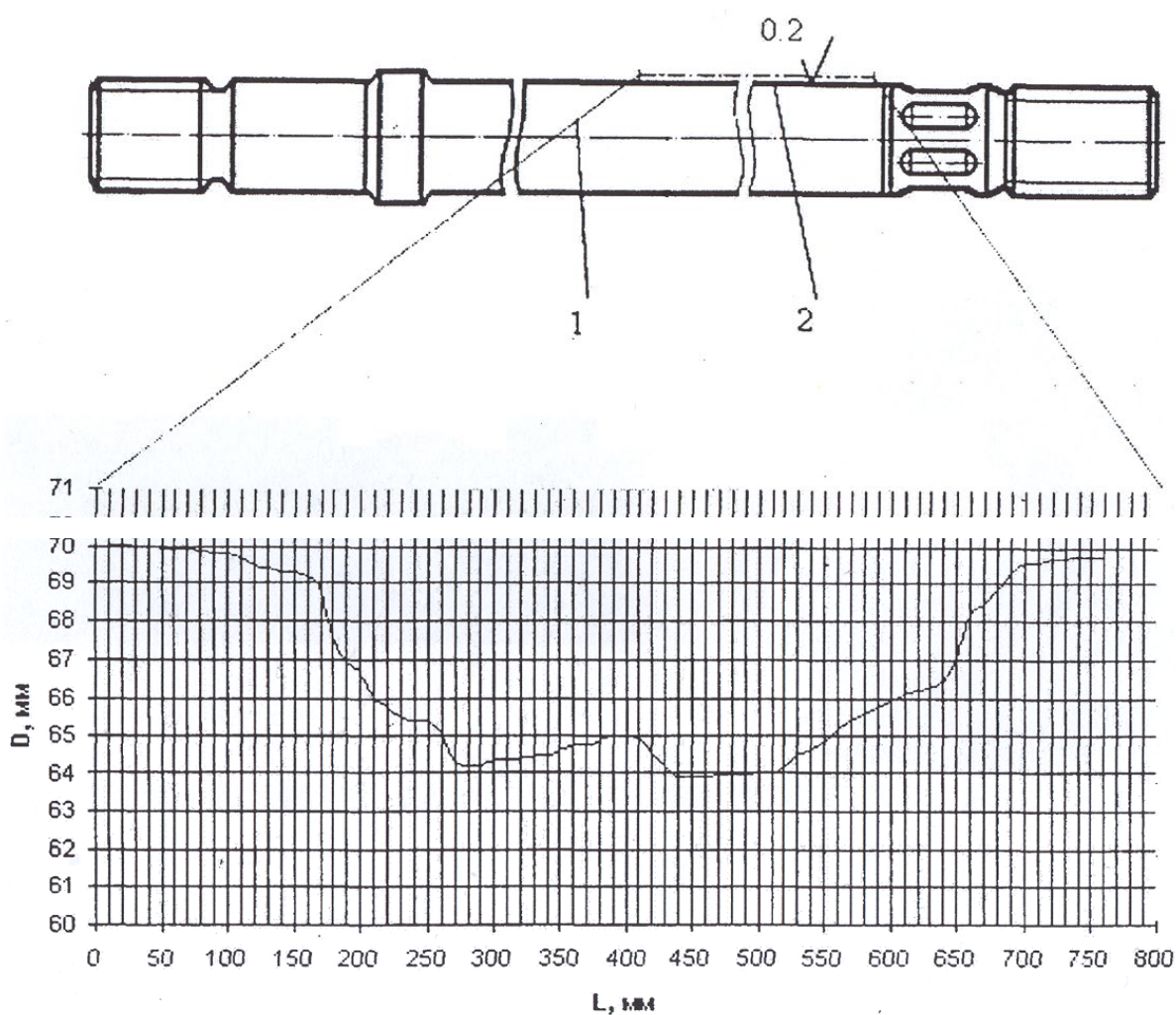
Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сталі 38Х2МЮА [1]

T Град	$E \cdot 10^{-5}$ МПа	$\alpha \cdot 10^6$ 1/Град	I Вт/(м·град)	ρ кг/м ³	C Дж/(кг·град)
20	2.09		33	7710	
100	2.02	11.5	33		496
200	1.94	11.8	32		517
300	1.9	12.7	31		533
400	1.81	13.4	20		546
500	1.74	13.9	20		575
600	1.62	14.7	28		609

Надійність експлуатаційної системи, яка досліджується у даній роботі та яка працює в умовах динамічних навантажень, в абразивному та агресивному

середовищах, а також залежить від стану поверхневого шару, який сформовано під час підвищення зносостійкості.

Найслабкішою ланкою штока бурового насоса, як правило, є пара тертя шток – ущільнення. Профілограма мікрогеометрії робочої частини штока, яка зображена на рис. 1.2., ілюструє місця катастрофічного зносу, хоч і технологія виготовлення штока передбачає гартування та хромування. Для виявлення умов, що спричиняють виникнення зносу вузла штока бурового насоса – шток – ущільнення, проведено 3D моделювання кривошипно-шатунного механізму бурового насоса УНБ-600 за допомогою програми КОМПАС 3D [28].



1 – шток бурового двопоршневого насоса, 2 – ділянка максимального зносу

Рисунок 1.2 – Профілограма макрогеометрії робочої поверхні штока бурового насоса:

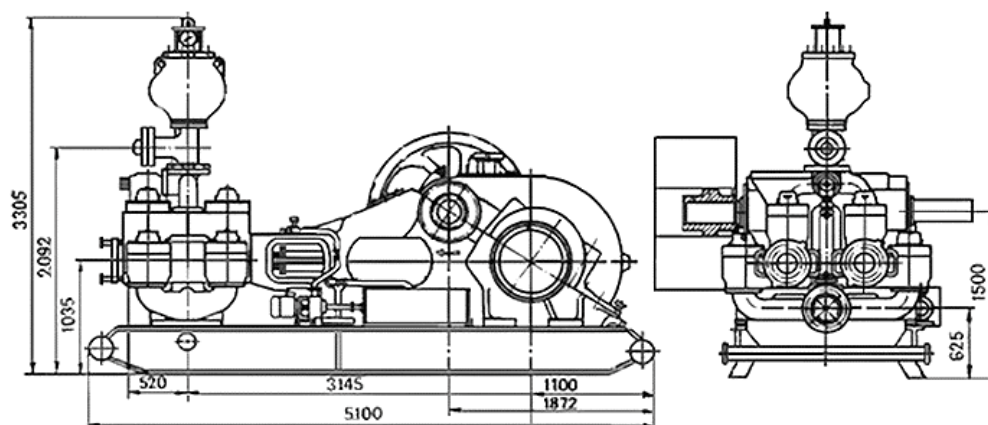


Рисунок 1.3 – Буровий насос УНБ-600

Такого роду моделювання дає змогу провести аналіз складання деталей та вузлів і, в результаті, отримати вихідні дані для подальших кінематичного і силового розрахунків.

У процесі розглянутого вище моделювання отримано координати центрів мас та моментів інерції ексцентрикового валу, шатуна та повзуна насоса. Також головним чином виявлено, що у парі тертя шток – ущільнення штока бурового насоса виникає значна радіальна змінна реакція, яка не передбачена даними, отриманими від виробника. У ході дослідження було розглянуто годографи двох насосів: УНБ-600 і БРН-1 бурових установок для буріння свердловин до 2500 м (БРН-1) і до 5000 м (насос УНБ-600). Аналіз розглянутих годографів показав, що в одному з випадків реакція досягає 70 кН, а в другому – 30 кН, зміна в часі яких свідчить про те, що це є основною причиною низького показника зносостійкості і попадання абразиву в зону тертя штоку.

Для запобігання попаданню абразивних частинок в зону тертя шток – ущільнення штока бурового запропоновано ефективне удосконалення [16] – вібраційний брудознімач. Так, патенти [17; 18], які було розглянуто при дослідженнях, стали основою створення спеціального стенда для дослідження зносостійкості розглянутої пари тертя штока бурових насосів шток–ущільнення.

Конструкції, які розглянуто в процесі експериментального дослідження ущільнень штоків мають низький рівень надійності, а також взаємозв'язані фактори їх руйнування, які, у свою чергу, мають складності у їх дослідженні. В процесі

тертя відбувається складний процес, внаслідок якого здійснюється руйнування манжет ущільнень, а також відбувається зношування штоків (рис.1.4).

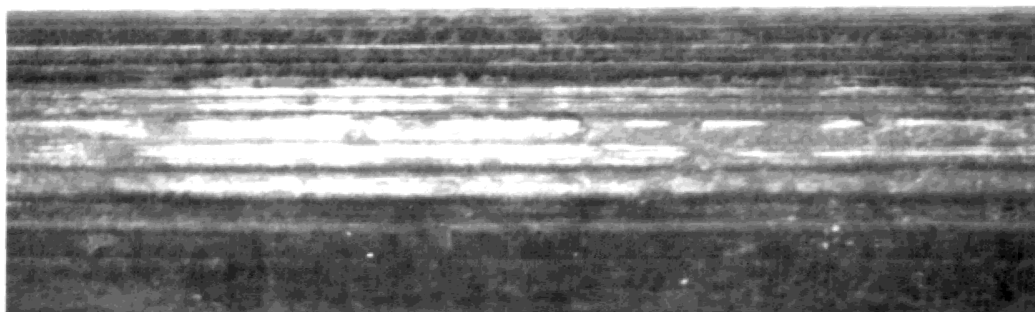


Рис. 1.4. Зношування робочої поверхні штока

Проведений попередній аналіз показує, що буровий насос працює в складновантажених умов під дією абразивного та гідроабразивного середовища.

1.2 Аналіз методів та матеріалів для нанесення зносостійких покриттів

Сучасні тенденції розвитку промислового виробництва характеризуються підвищеними вимогами до якості і експлуатаційним властивостям. Швидкий розвиток техніки викликає необхідність створення матеріалів, що володіють повним комплексом властивостей, які забезпечують високу міцність, корозійну стійкість, теплопровідність, жароміцність, зносостійкість та ін. Зазвичай, метали та окремі сплави не можуть забезпечити потрібну сукупність властивостей.

З метою підбору оптимального напилюваного покриття у ході експлуатаційних лабораторних досліджень використовувались промислові порошки декількох типів – ПГ-10Н-01, ПГСР-4, ПКХ 27Ю7С3И (ТУ 48-19-383-86). Вищезгадані порошки мають близький склад з основою, високі експлуатаційні властивості без спеціальної термічної обробки та низький рівень напружень покриттів. Результати проведеного рентгенофазового [39] аналізу визначено, що досліджувані порошки системи Ni-Cr-B-Si є багатофазною евтектичною структурою, яка складається з - твердого розчину на основі нікелю (γ - фази), бориду нікелю Ni_3B , силіциду типу Ni_5Si_2 , бориду CrB , карбіду Cr_7C_3 .

Дані мікрорентгеноспектрального аналізу свідчать про досить складний фазовий склад одержаних покриттів, який в цілому не відрізняється від складу

фазового складу напилюваного порошку. Основа покриття складається із ідентифікованого перенасиченого твердого розчину нікелю. В незначній кількості визначається вміст Ni_3B , CrB_2 і розпізнаються приблизно складні з'єднання металів-компонентів Cr_2B , $\text{Cr}_2\text{Ni}_3\text{B}_6$, $\text{Cr}_2\text{Ni}_3\text{Si}_2$, $\text{Ni}_{14}\text{Cr}_6\text{Si}_7$. Збільшення мікротвердості покриття виникає в результаті рівномірного розташування в об'ємі дисперсної фази поряд з конгломератами включень на поверхні крапель, яка у вихідному стані досягає 50 МПа.

В результаті рентгенофазового аналізу досліджувані порошки системи Ni-Cr-B-Si є багатофазною евтектичною структурою, яка складається з - твердого розчину на основі нікелю, бориду нікелю Ni_3B , силіциду типу Ni_5Si_2 , бориду CrB , карбіду Cr_7C_3 .

На рис. 1.5 а наведено загальний вигляд морфології поверхні порошкового покриття ПГ-10Н-01, який у ході лабораторного дослідження оплавлено електронним пучком при м'якому режимі. Слід зазначити, що обробка поверхні струмовим електронним пучком (СЕР) тягне за собою формування хвилястого мікрорельєфу. На поверхні в деяких областях спостерігаються дрібні западини. Дослідження рельєфу поверхні цих западин (рис. 1.5.б), показало, що вони є центрами скупчення дрібних включень. Згідно даних елементного аналізу, в їх склад входять значні частки S, Al і Ta. Їх основними складовими елементом є залізо. На поверхні покриття виявлено нерівномірно розподілені темні області, основним компонентом яких є залізо. Його максимальна концентрація на таких ділянках сягає близько 94%. Найімовірніше, що в процесі оплавлення поверхні електронним пучком відбувається повне проплавлення порошкового покриття, оплавлення поверхні підкладки і локальне перемішування компонентів підкладки та покриття. Крім цього, до складу покриття входить близько 15% Cr і 40,5% Ni. За проведеними розрахунками рентгенограм, до складу вихідного порошку ПГ-10Н-01 входять 72% Ni, 20% FeCr і 8% CrB. Оплавлення поверхні СЕР призводить до того, що основними складовими покриття є Ni і Fe. Вони складають близько 65 і 6% відповідно від загального фазового складу поверхні. Решітка Ni сильно розтягнута: $a(\text{Ni}) = 3,55 \text{ \AA}$, а параметр решітки $\alpha\text{-Fe}$ дорівнює $2,86 \text{ \AA}$. Одночасно модифікація

покриття призводить до утворення на поверхні оксидних з'єднань Ni_2O_3 (9%), NiO (4%) і Fe_2O_3 (9%). До складу поверхні покриття входить також близько 6,5% Cr. На рис. 1.5 наведені фотографії поверхні покриттів ПГ-10Н-01 після обробки поверхні СЕП в жорсткому режимі і після імпульсної плазмової обробки. Структура поверхні покриттів була розглянута на великих збільшеннях. Судячи з характеру мікрорельєфу, плазмово-детонаційне напилення супроводжується утворенням зернистої структури. Обробка поверхні СЕП призводить до сплаву цих зерен і робить її більш однорідною.

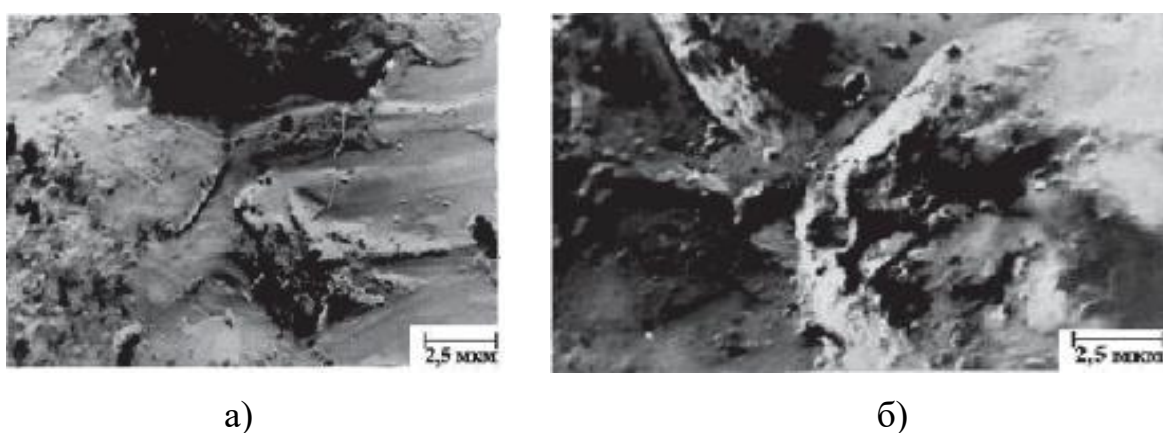


Рисунок 1.5 – Структура поверхні порошкового покриття ПГ-10Н-01, обробленого: а) - СЕП ($2 \cdot 10^3$ Вт / см^2); б) - плазмовим потоком.

Слід зазначити, що в покритті виявлено присутність незначної кількості маленьких пір (круглі або овальні ділянки). Розмір і кількість цих пір в покритті після імпульсно-плазмової модифікації збільшено в порівнянні з результатами, отриманими після модифікації поверхні СЕП. Але в таких покриттях більш наочно формування чіткої зерен структури. Проведені дослідження фазового складу покриттів, оброблених СЕП в жорсткому режимі, дали такі результати. До складу поверхні покриття входять 50% Ni ($a(\text{Ni}) = 3,54$ Е) і 11% Cr ($a(\text{Cr}) = 2,88$ Е). Збільшення щільності потужності СЕП при опроміненні покриття СЕП стало причиною збільшення на поверхні концентрації основного компонента матриці підкладки - заліза і освіти інтерметалідних з'єднань між складовими елементами порошку. На рентгенограмі (рис. 1.6) чітко видно наявність піків, відповідних

сполук CrB і FeCr. Масова частка цих сполук в покритті товщиною близько 1 мкм становить відповідно 13 і 26%.

На рис. 1.7. представлені залежності мікротвердості по глибині покриття і підкладки для різних режимів обробки. Найбільше збільшення мікротвердості спостерігається у зразків, опромінених електронним пучком при найбільшій щільності потужності. Щодо вихідного матеріалу підкладки мікротвердість поверхні після оплавлення збільшилася в 4,5 рази. Чітко спостерігається приріст мікротвердості на глибині понад 300 мкм. У той же самий час опромінення покриття електронним пучком з частковим опалювальному підкладки збільшує твердість тільки в 3 з гаком рази і, відповідно, максимальна глибина зміцненого шару складає всього близько 100 мкм, тобто приблизно на глибину самого порошкового покриття. Значення мікротвердості у покриття без обробки електронним пучком (відразу після нанесення високошвидкісний імпульсної плазмової струменем) значно менше від результатів, отриманих після термічного відпалу поверхні електронним пучком. Встановлено, що протяжність області термічного впливу плазмового струменя досягає приблизно 200 мкм, а електронного пучка в жорсткому режимі оплавлення - 500 мкм.

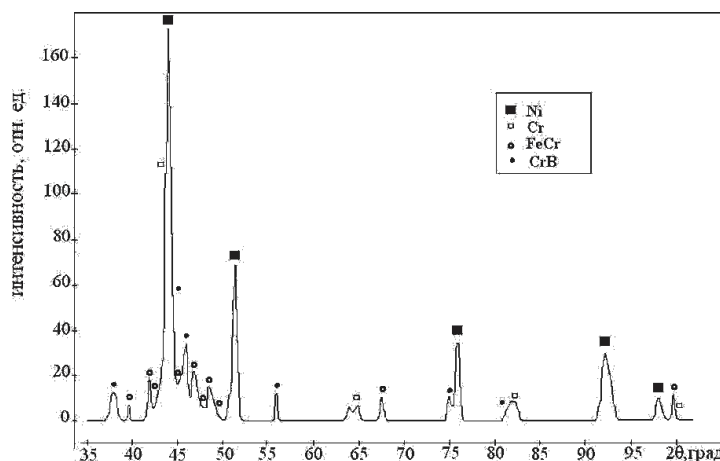


Рисунок 1.6 – Рентгенограма, отримана з поверхні порошкового покриття ПГ-10Н-01, після її модифікації потужнострумових електронним пучком ($2 \cdot 10^3$ Вт / см^2).

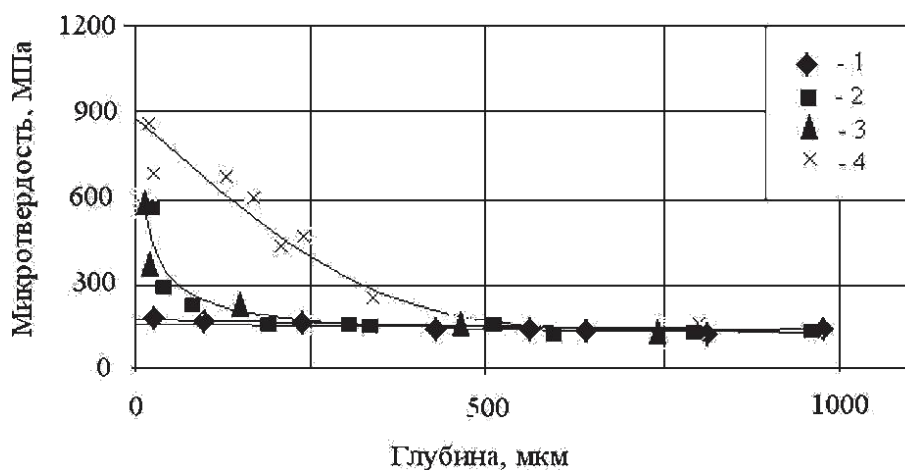


Рисунок 1.7 – Залежність мікротвердості по глибині по-поверхневого шару покриття зі сплаву на основі Ni: 1 - підкладка; 2 - матеріал покриття в вихідному стані (після плазово-детонаційного напилювання); 3 - покриття, опромінене СЕП (10^3 Вт/см²); 4 - покриття, опромінене СЕП ($2 \cdot 10^3$ Вт / см²).

Підвищення зносостійкості нанесеного порошкового покриття ПГ-10Н-01 можливе також за рахунок введення нанодобавок. Покращення комплексу властивостей, які висуваються до поверхні штоку можливо отримати за рахунок використання нанодисперсних оксидів (TiO_2 , Al_2O_3 та SiO_2).

В результаті додавання нанодисперсних оксидів на прикладі Al_2O_3 , в якості модифікаторів, утворюються композиційні складові різного фазового та хімічного складу. Утворені складові мають кристалічну або аморфну структуру, яка розподіляється по об'єму напиленого покриття. Відомо [20–23], що поверхнева енергія з'являється в надлишку через присутність наночастинок у вихідному порошковому матеріалі. Це позитивно позначається на стадіях формування покриття. Як наслідок чого експлуатаційні властивості покриттів підвищуються навіть не дивлячись на те, що вміст нанодисперсних частинок оксидів по об'єму становить невелику частку відсотка.

Впровадження нанодисперсних частинок Al_2O_3 , завдяки яким зерна матриці покриття подрібнюються, призводить до реалізації ефекту модифікації покриття покриття системи Ni-Cr-B-Si з підвищенням його фізикомеханічних властивостей.

Для вибору методу нанесення покриття, необхідно проаналізувати їх і визначити, який з них може забезпечити необхідні зносостійкі характеристики покриття, а також, виходячи з їх економічних показників. Вибір методу нанесення

покриття залежить від різних факторів, таких як: продуктивність методу, товщина нанесеного шару покриття, геометричні розміри виробу, температури процесу та інші.

Для підвищення зносостійкості та корозійної стійкості успішно використовуються методи газотермічного напилення. Висока ефективність і універсальність цих методів визначається їх особливостями: можливістю нанесення покриттів з різних матеріалів: чистих металів і сплавів на їх основі, оксидів, карбідів, боридів, органічних речовин і багатьох інших матеріалів; можливістю отримання покриттів на самих різних конструкціях і матеріалах - на металах, кераміці, склі, пластмасах, тканинах, папері і т.д.; малою деформацією і невеликою зміною властивостей виробу, на який наноситься покриття, оскільки напилення не викликає його істотного нагріву; малою витратою матеріалів для покриттів, оскільки їх товщина, зазвичай, складає 100 - 500мкм; високою продуктивністю напилення, яка коливається для різних процесів від 1 кг/год до декількох десятків і навіть сотень кілограмів за годину розпиленого матеріалу [3-5].

Усі способи газотермічного нанесення покриття об'єднані принципом формування покриття з окремих частинок, нагрітих і прискорених за допомогою високотемпературного газового струменя. Деякі характеристики способів газотермічного напилення наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Характеристики способів газотермічного нанесення покриття [4]

Характеристика способів	Способи газотермічного напилення			
	Газополуменевий	Електродуговий	Плазмовий	Детонаційний
Матеріали, які використовуються	Дріт, порошок	Дріт	Дріт, порошок	Порошок
Середня швидкість струменя, м/с	До 370	-	До 800	До 3000
Температура полум'я, °C				
H ₂ +O ₂	2700	-	-	3680
C ₂ H ₂ +O ₂	3100	-	-	5300
Ar	-	15000	15000	
He	-	-	20000	
Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ)	0,8-0,95	0,8-0,95	0,7-0,9	0,3-0,6
Міцність зчеплення, МПа	до 40	до 50	до 50	до 100
Пористість, %	5-15	5-25	2-15	0,5-1,5
Твердість покриття(HV) з Al ₂ O ₃ кгс/мм ²	600-800	-	700-1000	

Окрім характеристик приведених в табл. 1.4 розглянемо більш детально усі переваги та недоліки методів газотермічного напилення.

Плазмовий спосіб. При плазмовому способ забезпечуються високі значення КВМ: 0.3 – 0.8 для порошкових. При цьому коефіцієнт використання енергії не перевищує 0.001 – 0.2, продуктивність до 50 кг/год., міцність зчеплення до 50МПа, пористість 2 – 15%, максимальна температура часток, які напилюються – до 4000К, швидкість напилюючих часток 50 – 400м/с, в якості джерел теплоти використовується плазмова дуга, плазмовий струмінь [5].

Переваги:

- одержання покриттів з матеріалів, що розплавляються без розкладання та без обмеження по температурі плавлення;
- використання плазмового струменя різних газів: інертних, окисних, а також природного газу, водяної пари, що в скупченні із застосуванням камер із середовищем захисних насадок дозволяє керувати властивостями середовища, у якій нагріваються і рухаються частки порошку;
- керування енергетичними характеристиками напилених часток і умовами формування покриття за допомогою гнучке регулювання електричного і газового режимів роботи плазмотрона;
- досить високий коефіцієнт використання матеріалу, який напилюється та продуктивність процесу нанесення покриття;
- збереження особливостей структури і властивостей матеріалу основи завдяки нагріванню поверхні до порівняно невеликих температур.

Недоліки:

- низька міцність зчеплення покриттів з поверхнею деталі для ряду умов експлуатації (10 – 50 МПа при іспитах на нормальний відрив); високий рівень шуму (110 – 130 дБ) і випромінювання; відносно висока вартість устаткування і його стаціонарність.

Детонаційне напилення. При детонаційному методі немає необхідності в повному розплавлюванні матеріалу, який наноситься на поверхню виробу. Сполучення дії тепла, що виділяється при ударі, високого тиску і високої швидкості деформації матеріалу забезпечують одержання монолітного шару, що кристалізується в стабільній системі. Таким чином, метод детонаційного нанесення, по суті, - єдиний спосіб одержання твёрдосплавних покриттів на металах, які за своїми властивостями значно не відрізняються від властивостей спечених твердих сплавів.

Перевагами детонаційного напилення є:

- помірне нагрівання поверхні виробу, що покривається (не вище 250 °С);

- можливість одержання покриттів з підвищеною міцністю зчеплення і щільністю за допомогою високої кінетичної енергії часток матеріалу, що напилюється;

- можливість нанесення міцно зчеплених покриттів на деякі види підкладок (сталь, нікелеві сплави й ін.) без струменево-абразивної підготовки поверхні;

- зазвичай проста конструкція установки.

Однак даний спосіб має ряд недоліків:

- високий рівень шуму (125 – 140 дБ) і інші шкідливі впливи вимагають ізоляції зони обробки;

- технологічні обмеження на обробку нежорстких деталей, що викликані високими імпульсними тисками при впливі продуктів детонації на підкладку;

- обмеження по твердості поверхні, що напиляється (не вище 60 HRC)[6].

Газополуменевий спосіб. Газополуменевий спосіб має обмеження за температурою напилюваного матеріалу, з якого формується безпосередньо покриття, забезпечують для своєї номенклатури матеріалів КВМ, міцність зчеплення до 50МПа, пористість 5 – 25%, максимальна температура напилюючих часток до 3000К, швидкість напилюючих часток 20 – 180м/с, в якості джерел теплоти використовується полум'я різних газів і їх сумішей.

Використання детонаційного методу нанесення покриття на поверхню у порівнянні з плазмовим методом нанесення покриття, електродуговою металізацією, а також йонно – плазмовим нанесенням покриттів має переваги по економічним та технологічним параметрам. Покриття мають високу твердість, рівномірність товщини по периметру деталей, добру адгезію з основним металом, маленькою пористістю, максимальну зносостійкість та мінімальний коефіцієнт тертя [7].

Згідно вибраного матеріалу для нанесення покриття вибираємо плазмовий метод нанесення покриття. Плазмове напилення може бути плазмово – дуговим (ПлДН), при якому плазмовий струмінь утворюється за допомогою електричної дуги, та високочастотним (ВПлН), при якому плазмовий струмінь утворюється за

допомогою високочастотного розряду. Для обраної деталі будемо застосовувати плазово-дуговий спосіб нанесення покриття.

Плазово-дуговий спосіб рекомендується для напилення захисних і зміцнювальних та інших видів покриттів з порошків металів, оксидів, боридів та інших тугоплавких з'єднань, із композиційних порошків, а також з дротяних матеріалів.

Плазовий струмінь утворюється в плазмотроні за рахунок нагріву плазмоутворюючого газу при проходженні його через дугу, або високочастотному індукційному нагріванню. Температура плазового струменя може складати 5000 – 55000 °С, а швидкість витікання 1000 – 1500 м/с. Потрапляючи у плазовий струмінь, частки порошку нагріваються і прискорюються в середньому до 50 – 200 м/с [7]. Коли частки б'ються о поверхню, вони зчеплюються з нею за рахунок металургійної, механічної та інших видів взаємодії.

Застосовуваний метод напилення забезпечує достатньо повний перенос в покриття всіх легуючих елементів, що входили в склад напилюваного порошку (Mn, Cr, Ni). Результати хімічного аналізу складу покриттів показали збільшення масового вмісту домішок елементів впровадження – до 2 % С, 3,5 % O₂, 0,1-0,3 % N₂.

Це перспективний, недорогий та продуктивний спосіб нанесення покриття. Будемо розроблювати технологічний процес підвищення зносостійкості штоку компресора даним способом.

Висновки:

Визначено, що деталі і вузли бурових насосів працюють в умовах комплексної дії високих статичних і динамічних навантажень у присутності абразиву і промивної рідини під високим тиском

Плазове напилення вигідно відрізняється від інших технологій нанесення покриттів і дає змогу отримувати покриття з заданими властивостями напилюваного шару на виробках різних форм і розмірів. В якості матеріалу для напилення покриття обрано самофлюсівний ПГ-10Н-01, в суміші з нанопорошком

оксиду алюмінію. Покриття такого типу мають пластичність і достатню міцність покриття, здатність зміцнюватись при терті, присутність стійких до зношування карбідів забезпечують високу зносостійкість плазмово-дугового покриття.

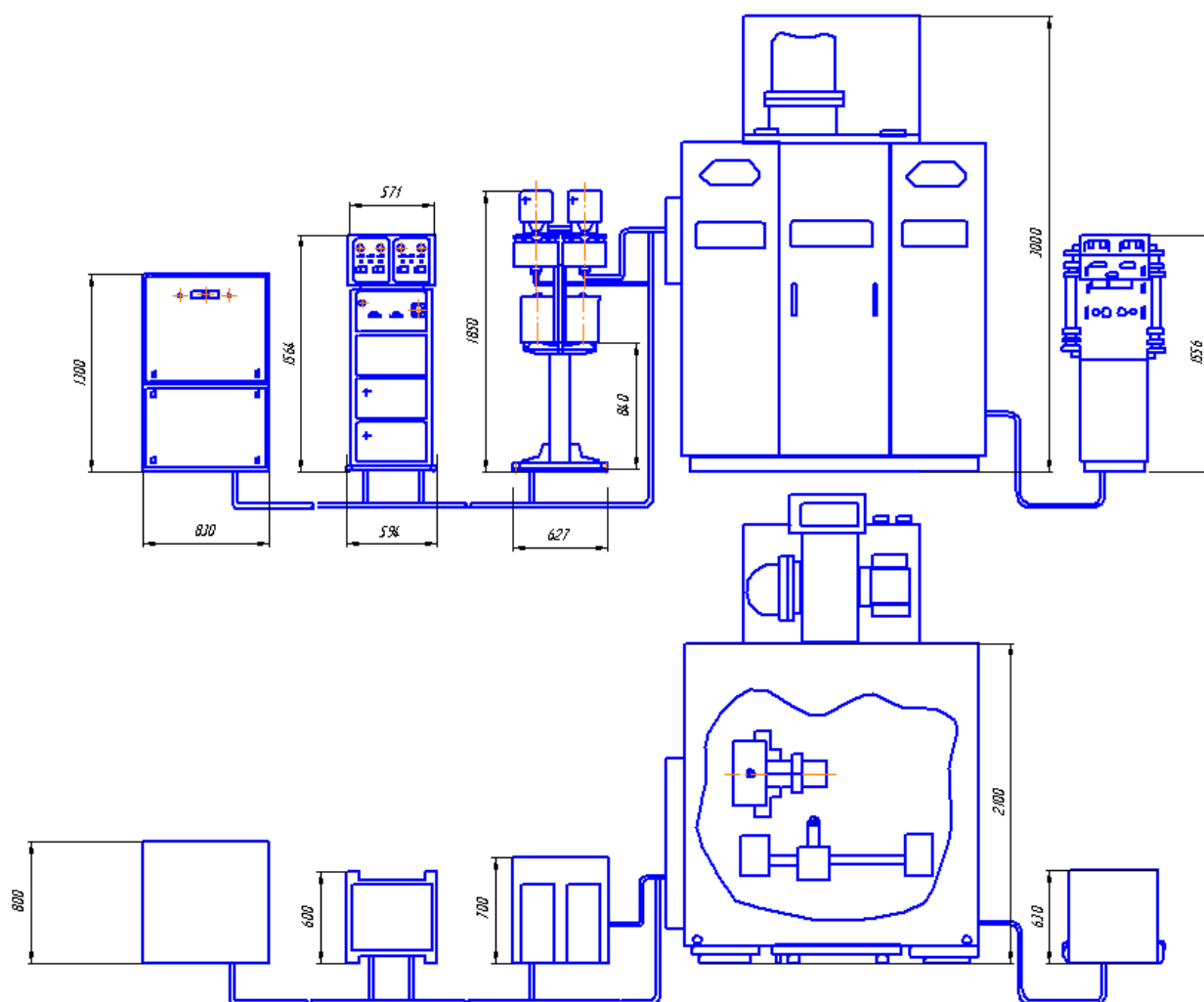
Застосовуваний метод напилення забезпечує достатньо повний перенос в покриття всіх легуючих елементів, що входили в склад напилюваного порошку (Mn, Cr, Ni).

2 ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обладнання для нанесення покриття

Виконання кожного технологічного процесу забезпечується відповідним обладнанням, яке може бути виготовлене у вигляді окремого інструменту (наприклад пальники), установок (модулів), які реалізують конкретну операцію технологічного процесу, наприклад комплекс для плазмового напилення на основі „Київ-7” (функція транспортування порошку у плазмотрон, живлення плазмотрону електричним струмом, нагрівання та прискорення напилюваних часток з допомогою плазмотрону його переміщення, обертання деталі). Дана технологічна операція плазмового напилення покриттів забезпечується комплексом для плазмового напилення на базі установки «Київ-7», який укомплектовано установкою для плазмового напилення, механізмом кріплення, переміщення плазмотрону та обертання деталі, системою вентиляції для видалення газів та пилу, а також звукоізолюючим скафандром.

Будь-яка установка для газотермічного нанесення покриття складається з розпилювача, механізму подачі матеріалу, який розпилюється (дроту, порошку, стержнів або гнучкого шнура), джерела енергопостачання, системи що подає розпилюючий газ, пульта керування, камери напилення. На рис. 2.1 наведена функціональна схема комплексу для напилення на базі установки «Київ-7» для газотермічного нанесення покриття.



1 - блок живлення; 2- Пульт керування; 3 - блок подавання порошкових матеріалів;
4- камера напилення; 5- блок керування камерою напилення.

Рисунок 2.1 – Комплекс для напилення на базі установки «Київ-7»

Таблиця 2.1 - Технічні можливості комплексу для плазмового напилення на основі установки «Київ-7»

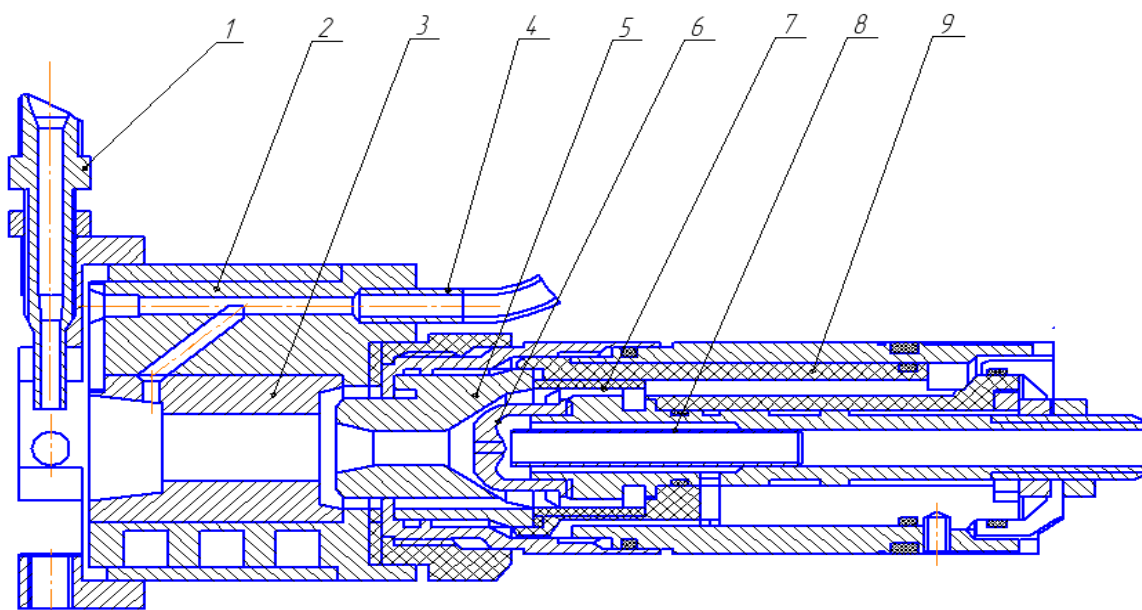
Характеристики комплексу		
Розмір деталей, мм:		
Циліндричних	довжина	1200
	діаметр	600
плоских		-
Маса деталей, кг, не більше		150
циліндричних		-

Продовження табл. 2.1

плоских	-
Швидкість переміщення плазмотрона, м/с	0,0002...0,16
Уздовж вісі шпинделя	-
Поперек вісі шпинделя	-
Кількість координат переміщення плазмотрона	-
Частота обертів шпинделя, об/хв.	6...300

2.2 Плазмовий розпилювач для нанесення покриття

В даному випадку на установку буде встановлений плазмотрон ПУН-1 який зображено на рис. 2.2.

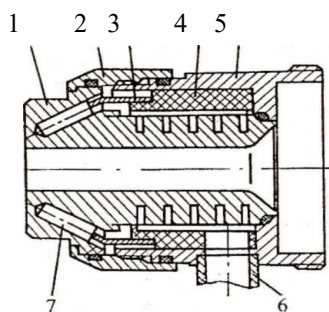


1 – штуцер для подавання порошку; 2 – корпус анодного вузла; 3 – електрод (анод); 4 – система подавання порошку в канал; 5 – між електродна вставка; 6 – катод; 7 – завихрювач газу; 8 – дифлектор; 9 – ізолятор.

Рисунок 2.2 – Плазмотрон ПУН

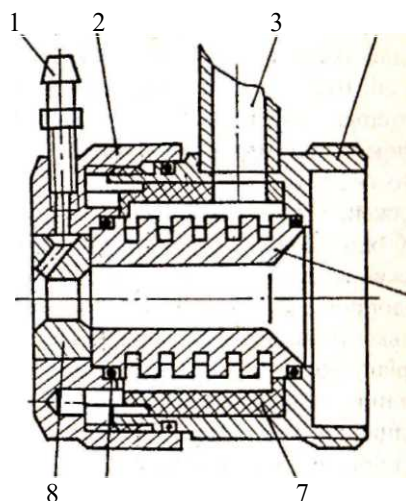
Плазмотрон ПУН-1 має катодний вузол, уніфікований із серійними плазмотронами для повітряно плазмового різання і оснащення змінним термохімічним катодом 6, який теж випускається серійно.

Анодний вузол плазмотрона 2 має кілька модифікацій, їх зображено на рис. 2.3, рис.2.4.



1 – електрод; 2 – накидна гайка; 3 – стакан; 4 – ізолятор; 5 – корпус; 6 – штуцер; 7 – канали

Рисунок 2.3 – Анодний вузол плазмотрона ПУН – 1 з канальним охолодженням кінцевої ділянки анода .



1 – штуцер для подавання порошку; 2 – накидна гайка; 3 – штуцер системи охолодження; 4 - корпус; 5 - електрод; 6 - ізолятор; 7 - ущільнення; 8 – сопло

Рисунок 2.4 – Анодний вузол плазмотрона ПУН – 1 (один з варіантів конструкторського виконання)

Дуговий канал може бути складеним або суцільним. Перший варіант (рисунок 2.3.) дає змогу легко здійснювати заміну формуючого сопла без розбирання плазмотрона, другий варіант (рисунок 2.4.) – забезпечує безпосередній контакт з водою охолодження по всій поверхні вихідного електрода. Стійкість електродного вузла у другому варіанті збільшується у 2...3 рази.

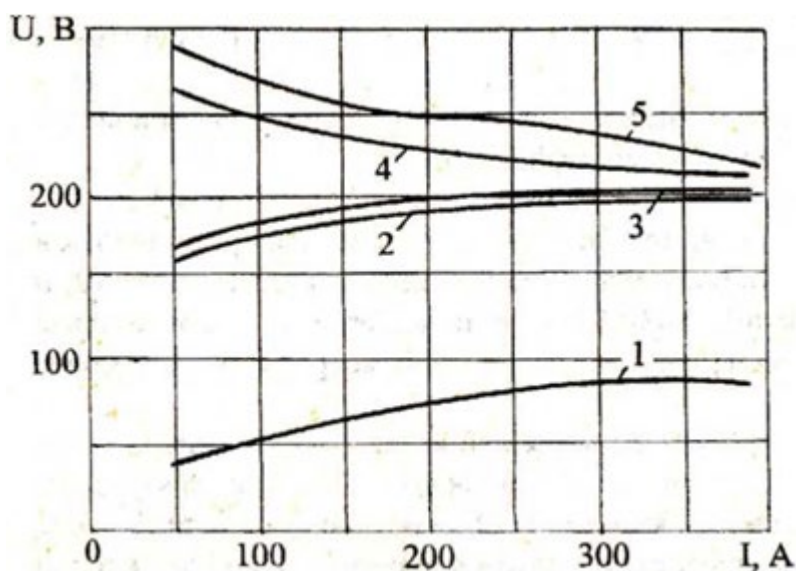
Охолодження катодного вузла і вузла МЕВ у розпилювача ПУН – 1 послідовне. Анодний вузол має незалежну систему охолодження із збільшеним перерізом водяних каналів.

У ПУН-1 використовується вихрове подавання плазми утворювального газу через систему аксіально – тангенціальних каналів. Частина газу відбирається з дугової камери і по отворах у тілі МЕВ подається у зазор між МЕВ і анодом через апарат для вентиляції зазору і пригнічення попереднього закручування основного плазми утворювального газу.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики плазмотрона ПУН-1.

№	Параметри	Значення
1.	Потужність плазмотрона, кВт	≤ 80
2.	Робочий струм	160...310
3.	Робочий газ	Повітря, суміш стиснутого повітря з вуглеводними газами(природний газ, пропан, бутан та ін..)
4.	Витрата плазми утворювального газу, м ³ /год Повітря Природного газу	3,9...12 0,1...2
5.	Робочий тиск газу, МПа, Повітря Природного газу	0,5...0,6 0,2...0,3
6.	Витрата охолоджувальної води, м ³ /год	0,8
7.	КВМ, не менше	0,7

На рисунку 2.5 , 2.6 наведені основні енергетичні характеристики ПУН – 1. Вольт-амперні характеристик полого спадні при роботі на газоповітряних сумішах і жорсткі на азоті і повітрі у діапазоні робочих струмів 150–400 А [12].



1 - аргон; 2 –азот; 3- повітря; 4- суміш повітря вуглеводного газу $\alpha=0,9$; 5-суміш при $\alpha=0,6$.

Рисунок 2.5 – Вольт-амперна характеристика плазмотронів ПУН-1

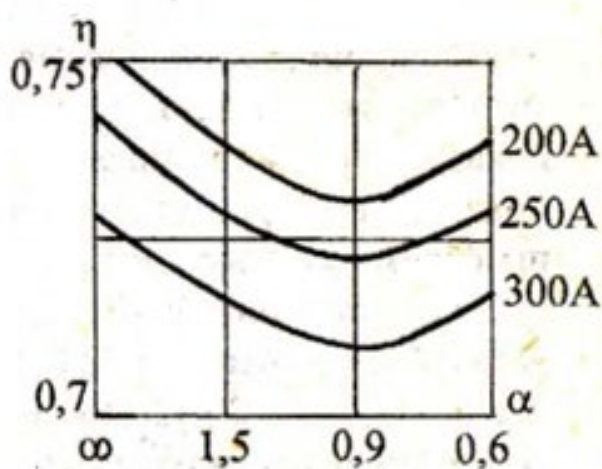


Рисунок 2.6 – Залежність ККД від струму дуги і коефіцієнта витрати окислювача.

Коефіцієнт корисної дії зменшується із збільшенням струму дуги і має екстремальну залежність від вмісту вуглеводневого компоненту. Мінімальне значення - при коефіцієнті витрати окислювача $\alpha = 0,9$.

Максимальний ресурс катодів ПУН-1 (40 годин сумарного часу) досягається при роботі плазмотрона на технічному азоті (струм 200 А). При використанні

повітря ресурс знижується до 12 годин на струмі 200 А і до 6,5 годин на струмі 300 А. Приблизно такий же ресурс і при роботі на газоповітряних сумішах.

Стійкість анода складає кілька десятків годин і залежить від струму дуги і складу плазми утворювальної суміші. Додавання горючого газу до повітря підвищує стійкість (у перші 6...10 годин роботи на струмі до 300 А ерозія практично відсутня).

2.3 Методики дослідження властивостей покриттів

Методика випробування на зношування

Підвищення зносостійкості та надійності деталей обумовлені технологіями та досконалістю методик, які використовуються для вивчення та аналізу властивостей покриттів. Методика випробування на зношування та обладнання, яке використовувалося, вибирали в залежності від складу напилюваних матеріалів та можливостей проведення методики. Випробовування на зносостійкість покриття, напиленого плазмовим методом на основі самофлюсівних порошків (ПГ-10Н-01) з додаванням нанокompонента (Al_2O_3), проводились на машині тертя СМЦ-2 (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Машина тертя СМЦ-2

Машина тертя СМЦ-2 працює в умовах сухого тертя металу по металу та призначена для випробування матеріалів на зношення, також визначення їх

фрикційних властивостей. Дана машина оснащена пристосуванням для градуювання його силових систем, які присутні в ній. Спеціальні камери, які використовуються в СМЦ-2, призначені для проведення випробувань в рідких середовищах.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики СМЦ-2 [19]

Найменування параметра	Норма
Частота обертання валу контртіла, об/хв	300, 500, 1000
Коефіцієнт проковзування круглих зразків з однаковими діаметрами, %	0, 10, 15, 20
Максимальний момент тертя, Н·м	15
Діапазон зміни моменту тертя, Н·м	1,5...15
Діапазон вимірювання навантаження, Н	
- диск-диск, зразок-контртіло;	200 - 2000
- вал-втулка	500 - 5000
Потужність, кВА	2,2
Межа допустимої похибки коефіцієнта проковзування	±5%
Межа допустимої похибки числа обертів контртіла	±10%

Проведення експериментальних робіт проводилося з застосуванням кінематичної схеми пари тертя «зразок-контртіло», яка представлена на рис. 2.8. Зразок, на який заздалегідь нанесено покриття, нерухомо закріплювався на консольній балці в каретці з зажимами. Один кінець балки був закріплений на машині тертя, а на інший кінець нависили ваги. Таким чином навантаження на зразок становило $P = 55$ кН, швидкість тертя $V = 0,8$ м/с; температура випробувань $T = 70 \pm 20^\circ\text{C}$, часова база випробувань на тертя складала 30 хв, а також загальний час випробувань склав 2 години.

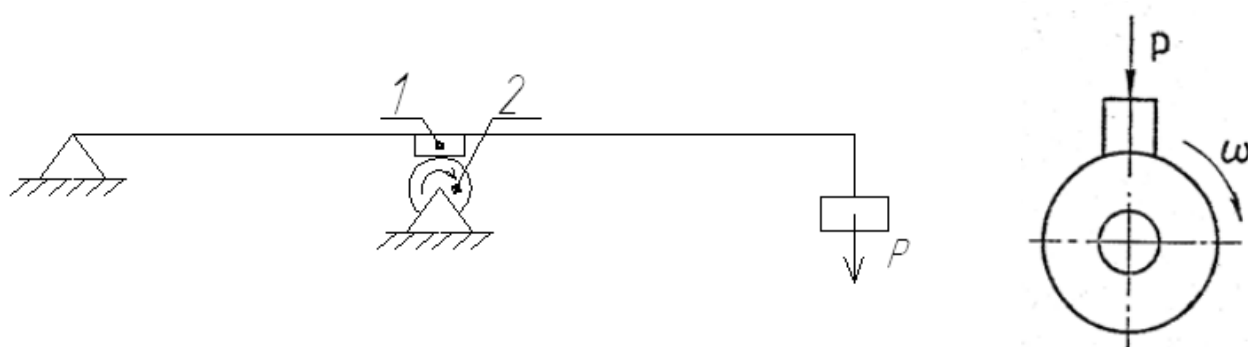


Рисунок 2.8 – Кінематична схема пари тертя. 1-зразок, 2-контртіло, Р- навантаження

Загартований сталевий диск, який був використаний в якості контртіла, виконаний із сталі У8 з твердістю 47 HRC. Зовнішній діаметр диска $D = 35$ мм, внутрішній діаметр (посадочний отвір) $d = 12$ мм, ширина $b = 8$ мм. Биття зовнішньої поверхні щодо осі і торцеве биття не перевищувало 0,01 мм.

Методика визначення мікротвердості покриття, напиленого плазмовим методом.

Основним призначенням методу є дослідження твердості мікрооб'ємів поверхні зразка (як структурних складових, так і окремих частинок). Вимірювання твердості мікрооб'ємів проводилося на мікротвердомірі ПМТ-3. Чотиригранна пірамідка з квадратною основою та кутом загострення 136° застосовувалася в якості індентора. Металографічні шліфи слугували зарзками для вимірювань.

Статичне навантаження, яке становило 100Н, тривалістю 3-15 с., прикладали до чотиригранної піраміди, яка втискується у поверхню досліджуваного зразка. Вимірювання параметрів відбитка, який залишився, і розрахунок мікротвердості матеріалу здійснюється після зняття навантаження за формулою:

$$H = 1,854 P / d^2 \quad (2.1)$$

де P - нормальне навантаження, яке прикладено до алмазного індентора; d - середнє арифметичне довжин обох діагоналей відбитка.

Дослідження мікроструктури і хімічного складу покриттів, напилених плазмовим методом

Дослідження основних властивостей напиленого плазмовим методом нанодисперсного порошку, які мають вплив на якість напилених покриттів, проводилося метою визначення мікроструктури покриття та фазового складу матеріалу покриття.

Скануючий електронний мікроскоп (СЕМ) — прилад, який дозволяє отримати зображення поверхні зразка зі значною роздільною здатністю. Зображення, які отримуються в результаті дослідження на даному мікроскопі, використовуються для морфологічного вивчення напиленої поверхні.

Принцип роботи приладу полягає в наступному: зразок, який досліджується в умовах вакууму, сканується сфокусованим електронним пучком середніх енергій.

Металографічний аналіз проводиться на мікрошліфах, які підготовлюють за наступною аналогією:

- вирізання зразка;
- шліфування та полірування до дзеркального блиску поверхні;
- травлення для виявлення структури.

Зразки вирізаються алмазним кругом або звичайною фрезою. Під час вирізання зразків не допускається їх підігрівання, бо це може призвести до структурних змін металу. Зразок, який вирізали заточують на абразивному колі періодично охолоджуючи його. Після цього отриманий зразок шліфується на шліфувальному папері до повного видалення рисок, поступово переходячи від абразиву з зернистістю близько 150-50 мкм до паперу мікронної зернистості 20-5 мкм. Під час переходу до більш тонкого паперу необхідно зачищати зразок і змінювати напрямок шліфування на 90°.

Готовий зразок необхідно промити, просушити і потім розглянути під мікроскопом при збільшеннях близько 100-150 раз для того, щоб оцінити якість поверхні, яку напилили. Під час дослідження поверхні металу під мікроскопом одразу після поліровки можна виявити на загальному світлому полі окремі темні та світлі (сіріші) точки та лінії, які представляють собою неметалеві включення

(оксиди, шлаки, сульфідні, карбідні, нітриди і т. д.), а також дефекти поверхні зразка (раковини, мікротріщини, сліди обробки), які не усунуті поліруванням. Якщо на поверхні зразка є дефекти, то його вертають на допрацювання для отримання більш якісної поверхні шліфа.

Поверхню мікрошліфа знежирюють за допомогою спирту, потім зразок підлягає травленню для виявлення мікроструктури металу. В результаті травлення мікрошліф отримує складний мікрорельєф, що характеризує будову металу та різних складових структури.

Рентгенофазовий аналіз

Фазовий аналіз – це встановлення наявності фаз в досліджуваному зразку, їх ідентифікація, тобто якісний аналіз, а також визначення відносного вмісту фаз, тобто кількісний аналіз.

Якісний рентгенівський аналіз будується за наступними принципами:

- а) кожна кристалічна речовина характеризується індивідуальним спектром дифракцій;
- б) суміш речовин дає спектр, що є суперпозицією спектрів цих окремих речовин.

Відносна інтенсивність ліній та міжплощинні відстані, які визначалися за рентгенограмою, називаються рентгенівською характеристикою речовини. Найбільш інтенсивні лінії даної речовини називаються реперними. Саме вони, якщо вміст даної фази в зразку зменшується, то останніми зникають на рентгенограмі. За даними реперними лініями, зазвичай, і виявляються фази. Чутливість фазового аналізу визначає мінімальну кількість речовини, при якій реперні лінії ще є помітними.

Чутливість методу залежить також від факторів, що викликають розширення рентгенівських ліній. Складніше виявити, звичайно ж, розмиті лінії, аніж різкі, саме тому зниження чутливості відбувається за присутні мікроявлення чи дисперсних кристалів (нижче 0,1 мкм). Також погіршення чутливості відбувається при грубій

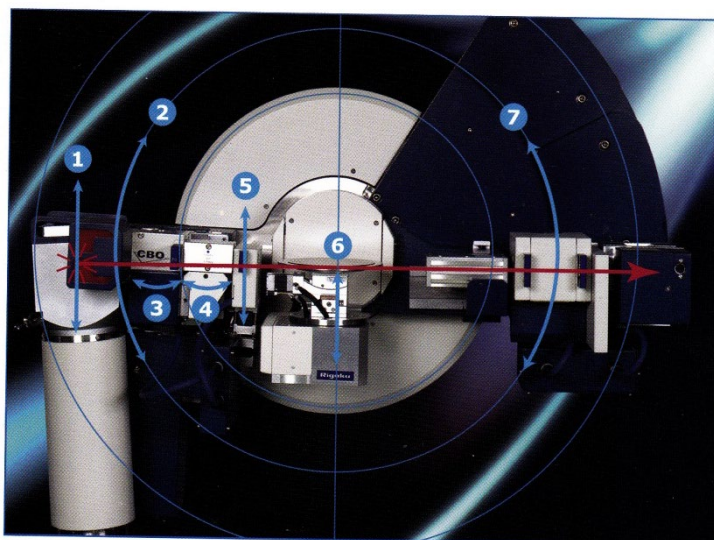
зернистості зразка, що призводить до зниження точності вимірювання відстаней між лініями. Пунктирні лінії видаляють за допомогою обертання зразка.

В залежності від того, які з перерахованих факторів діють в належній мірі в кожному конкретному випадку, чутливість фазового рентгенівського аналізу для різних зразків може складати величину від десятих часток до десятків відсотків.

Рівень фону, який проявляється на рентгенограмі або дифрактограмах, можна зменшити за допомогою оптимального підбору напруги рентгенівської трубки. Як наслідок, для трубки з мідним анодом оптимальною напругою є 30 кВ, для хромового анода — 25 кВ.

Чутливість даного методу також можна підвищити при правильній підготовці зразка. Перед зйомкою досліджені порошки доцільніше очищувати від забруднень хімічним способом.

Дослідження фазового складу для композиційних наномодифікованих порошків та покриттів, проводились на установці Rigaku Ultima IV. Схема установки Rigaku Ultima IV зображена на рисунку 2.9



1 – висота джерела; 2 – кут джерела; 3 – поперечна оптична балка; 4 – кристалооптика; 5 – висота прорізу; 6 – поверхня зразка; 7 – кут ходу детектора

Рисунок 2.9 – Схема установки Rigaku Ultima IV

Параметр кристалічної ґратки a розраховується за формулою 2.7:

$$a = \frac{\lambda \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{2 \sin \Theta}, \quad (2.7)$$

де, h, k, l – індекси площини;

Θ – кут скочвання пучка променів відносно відбиваючої поверхні;

λ – довжина хвилі рентгенівського випромінювання.

Методика якісного фазового аналізу. Якщо зразок однофазний, то визначення цієї фази представляє просту задачу. Натомість складність визначення зростає при збільшенні числа хімічних з'єднань, а також складових зразка.

Висновки:

Для плазмового нанесення покриття вибрано комплекс на базі установки ВБ-15, який укомплектовано безпосередньо установкою для плазмового напилення «Київ-7», механізмом кріплення та переміщення плазмотрону, механізмом обертання деталі, системою вентиляції для видалення шкідливих газів та пилу, а також звукоізолюючим скафандром.

Методика випробування на зношування та обладнання, яке використовувалося, вибирали в залежності від складу матеріалу для нанесення покриття та можливостей проведення методики. Проводилися експериментальні роботи із застосуванням кінематичної схеми пари тертя «зразок-контртіло».

У ході експериментальних досліджень також вивчалась морфологія досліджуваної поверхні за допомогою зображень, які одержані за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ).

3 ТЕХНОЛОГІЧНО - ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Визначення параметрів процесу нанесення покриття

Необхідні для плазмового нанесення покриття параметри визначаються за допомогою наступних факторів:

- визначення вимог до геометричних параметрів покриття, яке наноситься;
- діапазони регулювання параметрів управління формою за технічними характеристиками вибраного обладнання (розділ 2);
- конфігурація і розмірні характеристики тіла обертання, на яке наноситься покриття.

Проаналізувавши вимоги до нанесення зносостійкого покриття та вибрані установки, визначаються такі параметри плазмового напилення: сила струму до 300 А, напруга 200 В, витрати газу 4,5 м³/год, швидкість виток газу 300-500 м/с, швидкість часток 50-150 м/с, продуктивність 3-5 кг/год.

3.2. Розробка схеми технологічного процесу нанесення покриття

Дослідження частинок вихідного порошку показало, що вони мають сферичну форму з основною фракцією гранулометричного складу 50- 70мкм. В деяких частинках виявлені розташовані в центрі усадочні пори, виникнення яких пов'язане з різницею в обсягах рідкого і твердого металу. Діапазон зміни мікротвердості частинок знаходиться в межах 3-8 ГПа.

Покриття, одержане методом газополуменового нанесення, можна отримувати з різною тривалістю оплавлення. Металографічним аналізом доведено, що зі збільшенням часу оплавлення пористість для різної товщини покриття знижується з 2,5-6% (час оплавлення 10 секунд) до 0,1-0,3% при часу оплавлення 40 секунд. Причиною виникнення пористості, ймовірно, є як газ, що міститься в порах напишеного покриття, так і наявність концентрованих усадочних раковин в

частинках розпорошеного порошку сплаву ПГ-10Н-01. Збільшення часу існування рідкої фази дозволяє спливати газовим бульбашок з виходом на вільну поверхню, тому швидкість зниження пористості вище для більш тонких покриття

Опис операцій технологічного процесу нанесення покриття:

Просіювання. Пересів порошкового матеріалу. Вилучення потрібної фракції порошкових матеріалів (63 -100 мкм) проводиться ситовим методом на установці типу 029. Одна порція порошкового матеріалу обробляється протягом 10 хв. Далі установка зупиняється, проводиться вивантаження всіх фракцій матеріалу і завантажується нова порція дисперсного матеріалу.

Порошок, який вже просушений і просіяний, зберігається у сушильній шафі при температурі 50 ± 5 °C і вилучається з неї по мірі необхідності у кількості, яка дорівнює порції завантаження порошкового Дозатора-живильника.

Сушіння. Операція сушіння проводиться в сушильній шафі при температурах 130-150 °C протягом 2-3 годин на противнях із нержавіючої сталі. Під час сушіння необхідно періодично перемішувати порошок. Товщина засипки не повинна перевищувати 15-20 мм. Перед сушінням доречно провести промивання матеріалу холодною водою. Це дозволить вивести надто малі частинки матеріалу, а також вилучити залишки хімічних речовин, які використовувались під час виготовлення та гранулювання порошку.

Проточка. Проточку штока необхідно вести в кілька чистових проходів, щоб зняти тільки мінімально необхідний шар металу для відновлення циліндричної форми штока.

Шліфівка. Контроль якості шліфування штока проводиться калібрувальним кільцем.

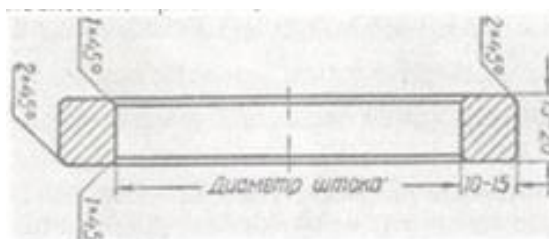


Рисунок 3.1 – Каліброване кільце

Очищення деталі. Очищати деталь будемо за допомогою мийки високого тиску PERKUTE серії Clean-o-mat RC162 та технічним миючим засобом ТМС-31, характеристики яких наведені в табл. 3.1 та 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики мийки PERKUTE Clean-o-mat RC162 [12]

Тиск, бар	4,5
Розмір робочої корзини, мм	1520x550x910
Допустиме завантаження, кг	500
Потік води, л/хв	450
Електроживлення, напруга/струм	400В/27А
Габаритні розміри, мм	1400x2200x2000
Маса апарату, кг	500
Температура нагріву, град	30 - 90

Таблиця 3.2 – Характеристики миючого засобу ТМС-31[5]

Характер забруднення	Технічні миючі засоби	Режим обробки	
	Типу ТМС-31	Температура, °С	Тривалість, хв.
Шліфувальні пасти	60 - 30	70...80	5...10

Масова концентрація розчину ТМС-31 складає 55-75% кг/м³. Процес проводять при температурі 70-80°C і тривалість процесу становить 5–10 хв.

Промивка деталі здійснюється у дистильованій воді. Промивка деталі необхідна для повного очищення від усіх залишкових забруднень. Тривалість процесу становить 5 – 10 хв.

Сушіння. Сушіння штоку компресора після процесу промивки, здійснюється в спеціальній сушильній камері, при температурі 30 – 40 °С, протягом 15 – 20 хв.

Ізоляція поверхні, яка не підлягає напиленню. Поверхні, які не підлягають напиленню, накриваємо спеціальною маскою. Маска встановлюється і

закріплюється після операції знежирення до операції абразивно – струменевої обробки.

Попередня обробка поверхні для її активізації. Абразивно-струменева обробка крім надання поверхні деталі шорсткості, руйнує плівку оксидів та адсорбованого повітря і вологи. Це покращує умови створення хімічного зв'язку між матеріалом покриття і основи. Продуктивність цієї операції вища від будь-якого іншого способу підготовки. Крім того, цей спосіб є універсальним по відношенню до конфігурації деталі.

Для забезпечення високих технологічних показників процесу очищення абразивні методи повинні відповідати таким вимогам:

- геометричні параметри та фізико-механічні властивості абразивних зерен повинні відповідати матеріалу очищеної поверхні та вимогам технологічного процесу щодо якості поверхні;
- абразив повинен забезпечувати високу продуктивність процесу при достатньої високій зносостійкості.

Оптимальні режими струменево - абразивної обробки поверхні щоби приведені в табл. 3.3.

Як абразивний матеріал використовується електроплавлений корунд (ГОСТ 3647-80).

Таблиця 3.3 – Режимы струменево – абразивної обробки [7]

Фракція абразиву, мм	0,8–1,5
Вид абразиву	Електрокорунд
Тиск стиснутого повітря, МПа	0,3-0,35
Відстань від сопла до поверхні, мм	40–120
Кут падіння струменя, град	75-80

Для стабільності профілю, якого набуває поверхня після обробки, не рекомендується різко змінювати кут і дистанцію обробки.

Під час підготовки поверхні під напилення рекомендується формувати шорсткість з висотою мікровиступів, що дорівнюють трьом чвертям частинок напилюваного матеріалу.

Після абразивно-струменевої обробки поверхня виробу повинна бути оброблена етиловим спиртом з ціллю видалення дрібних часточок матеріалу, який

був використаний при обробці (корунду). Використання інших розчинників неприпустимо, бо вони залишають плівку, яка важко усувається. Ця плівка перешкоджає утворенню міцного зв'язку між покриттям і основою.

Контроль. Контроль здійснюється для виявлення всіх недоліків, які були допущені в процесі підготовки деталі до напилення. Проводиться за допомогою лупи ЛП – І – ІОХ (ГОСТ 25706 - 83). Якщо усі показники задовольняють вимоги то деталь транспортують на дільницю напилення. В іншому випадку деталь піддають повторній активації та контролю якості.

Попередній підігрів. Відновлювану поверхню деталі спочатку підігрівають до температури 120-150 ° С.

Напилення покриття. Перед нанесенням покриття деталь встановлюють у трьохкулачковий обертач та закріплюють. Встановлюють на пульті керування усі необхідні параметри такі як: силу струму $I_a = 250$ А, напругу $U_{дв} = 200$ В, витрати плазмоутворюючого газу 4,5 м³/год, витрати охолоджувальної води 0,5 м³/год, відстань до деталі L_0 .

Процес плазово-дугового нанесення покриттів здійснюють таким чином. Плазматрон закріплюють у маніпулятор для напилення. Дистанція напилення визначається як правило опитним шляхом, залежить від порошку, режиму напилення і конструктивних особливостей виробу, що обробляється. Звичайно вона складає 100–120 мм.

Маніпулятор для напилення повинен забезпечувати плавне переміщення плазматрону для одержання рівномірної товщини покриття. Швидкість переміщення струменя щодо виробу 3–15 м/хв. Вісь сопла плазматрона повинна бути спрямована до поверхні, що напилюється під кутом 60–90°, у стиснутих умовах — не менш 45°.

Плазовий струмінь повинний бути стійким, без пульсацій. За допомогою регуляторів витрати газу, порошку, роботи вібратора та інших пристроїв (у залежності від конструкції установки) регулюють витрати порошку і транспортуючого газу для забезпечення рівномірної подачі порошку по осі струменя при внутрішній подачі порошку — без нарощування порошку на протилежній стінці сопла анода і закупорки отвору для введення порошку. Після

цього включають систему переміщення деталі, а потім — плазмотрона і наносять покриття.

Після закінчення процесу нанесення покриття виріб знімають із пристосування, не допускаючи ушкодження покриття. Екрани-маски та інші захисні пристосування знімають після охолодження виробу з покриттям до кімнатної температури так, щоб не пошкодити покриття.

Проміжний контроль. У процесі напилювання і по його закінченні контролюється напилення поверхні: надання рівномірно-матової поверхні, відсутність сторонніх включень, тріщин, відколів, відшарувань, непропалюваних часток, місць перегріву. Також контролюємо товщину покриття. Для цього використовуємо товщиномір марки Константа К-6, який призначений для виміру товщини будь якого типу.

Шліфування. Покриття, що мають високу твердість доцільно обробляти алмазними кругами на металевих зв'язках з алмазами АСК, АСВ, що забезпечують шорсткість поверхні R_a 0,16–0,3. Витрата алмазів менша, ніж при шліфуванні кругами на органічних зв'язках. Вибраний алмазний круг марки 12А2-45 та установку ЗЛ722В.

Розмір зерна круга вибирають залежно від бажаної чистоти обробки поверхні покриття (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Залежність шорсткості обробленої поверхні покриттів від зернистості алмазного круга [13]

Зернистість алмазного круга	Шорсткість поверхні, мкм
400	0,35–0,55
220	0,175–0,275
100	0,1–0,175

Зовнішньою ознакою, що характеризує правильність умов шліфування, є непряв глянцевої і полірованої поверхні.

Теплові тріщини можуть бути викликані недостатнім охолодженням в процесі шліфування або неправильним вибором охолоджувача, який не може розсіювати тепло, що генерується.

Застосування, в якості охолоджувачів, мінеральних масел не забезпечує достатнього охолодження контактної області між кругом і оброблюваною деталлю, що приводить до виривання частинок покриття і швидкого засалювання круга. Рекомендованим охолоджувачем є вода з добавкою 2 % інгібітору корозії. Як і в універсальних шліфувальних верстатах, охолоджувач виступає як очищувач, відносячи окремі частинки покриття і круга з оброблюваної поверхні в дренажну систему. При обробці великих плоских поверхонь рекомендується в зону шліфування два потоки рідини, що охолоджує круг з двох боків. Оскільки магнітний стіл рухається в обох напрямках, один струмінь діє як охолоджувач, тоді як інший очищає шліфовану поверхню від видалених частинок.

Алмазні круги заздалегідь піддають ретельному балансуванню, при якому: максимальне биття на периферії не повинне перевищувати 0,005 мм. Правку алмазних кругів у міру засалювання проводять стрижнем з карбїду кремнію.

Контроль якості. На столі контролю необхідно оглянути деталь з метою виявлення зовнішніх дефектів, за допомогою лупи ЛП-I-IOX (ГОСТ 25706-83). Деталі, у яких виявлено зовнішні дефекти, необхідно відбракувати для повторного напилення. Перевірити товщину напиленого шару за допомогою штангенциркуля ШЦ-I-125-01, (ГОСТ 166-89), мікрометра МГМ00-I (ГОСТ 6507-90).

Консервація деталей та транспортування на склад. Консервацію деталей проводять частіше за все за вимогами замовника. Деталь можна консервувати у мастилі або плакувати її у папір.

Після чого деталь перевозиться на автокарі LINDE до складу готової продукції.

3.3 План ділянки і технологічний регламент

Аналіз результатів експлуатаційних випробувань штоку компресора, зносостійкість якого підвищена напиленням, показує, що в більшості випадків деталей виходить з ладу унаслідок відсутності необхідних напилюваних матеріалів і вимог технологій. Такі вимоги не завжди можна реалізувати на практиці через

відсутність відповідного устаткування і ділянки для напилення, що забезпечує необхідні умови для напилення відповідальних деталей.

Установки, що випускаються промисловістю не вирішують проблеми якісного підвищення зносостійкості штоку. В більшості випадків шток після підвищення зносостійкості виходить з ладу унаслідок утворення різних дефектів в напиленому металі; наявність протягів, недостатня освітленість, обмеженість приміщення також надають вплив на якість напилення.

Якісне підвищення зносостійкості штоку бурового насосу можливе тільки за наявності добре оснащеної ділянки, що відповідає сучасним вимогам, за наявності сучасного і надійного устаткування для напилення і устаткування для зміцнюючої обробки, добре підготовлених робітників і обслуговуючого персоналу. В даний час на багатьох ремонтних базах відсутні ділянки по зміцненню крупногабаритних деталей, внаслідок цього відсутня технологічна дисципліна, що безумовно приводить до порушення вимог технології, що сприяє утворенню дефектів в напиленні, знижуючих працездатність зміцнених деталей.

Обов'язковою вимогою є наявність системи вентиляції, системи стислого повітря, системи охолодження (автономної або від сіті) і ін. Тільки при комплексному рішенні питання організації роботи по підвищенню зносостійкості штоку бурового насосу можна забезпечити достатньо високу їх працездатність. У зв'язку з цим ставиться задача спроектувати спеціалізовану ділянку підвищення зносостійкості штоку бурового насосу. Одночасно з підвищенням зносостійкості повинне бути передбачено устаткування для зміцнення деталей, зносостійкість яких підвищена напиленням.

Таким вимогам задовольнятиме ділянку, до складу якої входить (рис.3.2):

1. Камера з плазмовою установкою УМП 7
2. Дробоструменева камера
3. Аспіраційний пристрій
4. Модуль газовий
5. Пульт керування камерою
6. Живильник порошку
7. Шкаф керування камерою

8. Компресор РМ-3130
9. Станок свердильний ЗК631
10. Джерело живлення ВПН-630
11. Холодильна установка
12. Джерело живлення КДМ-2
13. Стіл
14. Верстат
15. Балон з газом
16. Сейф
17. Шкаф

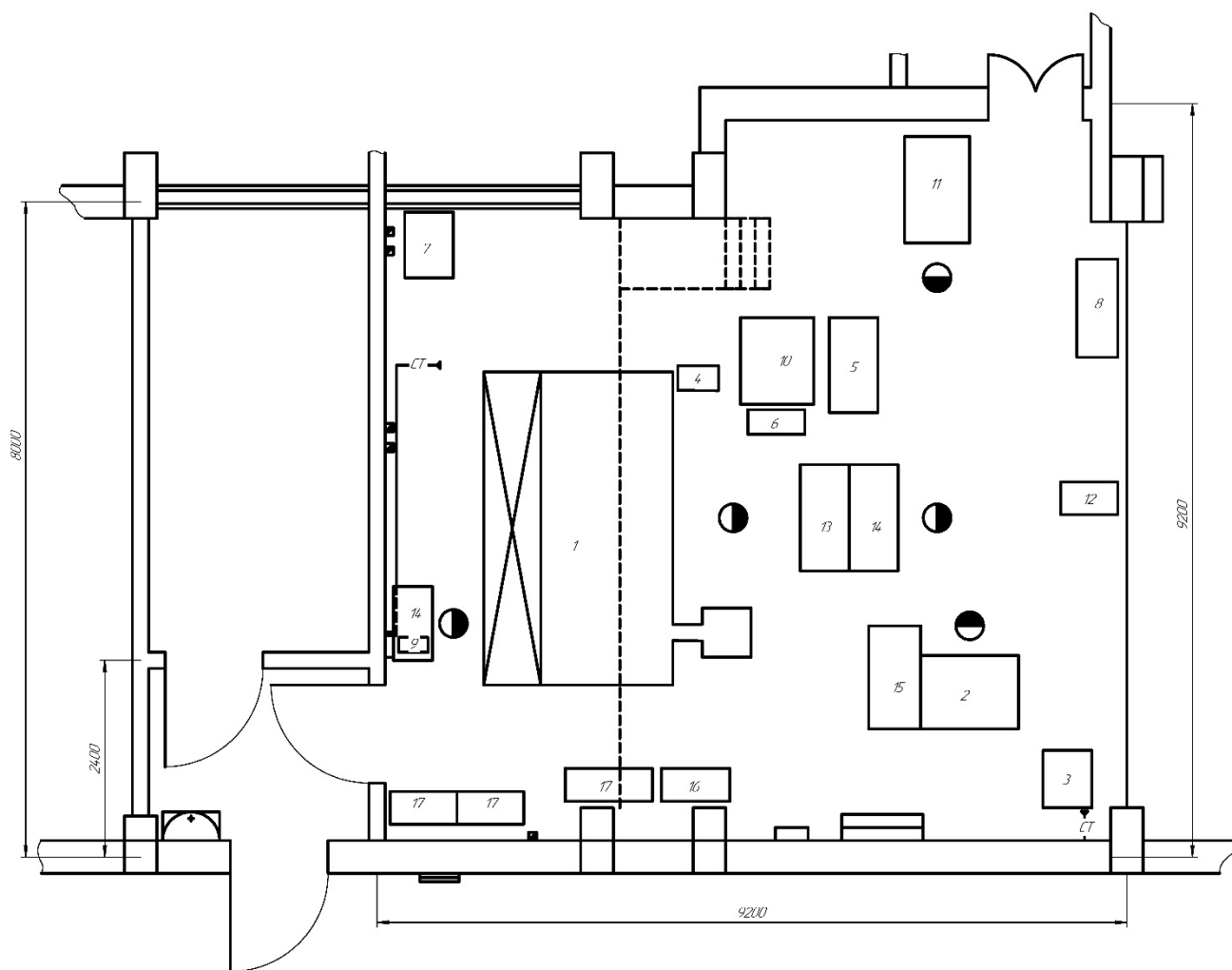
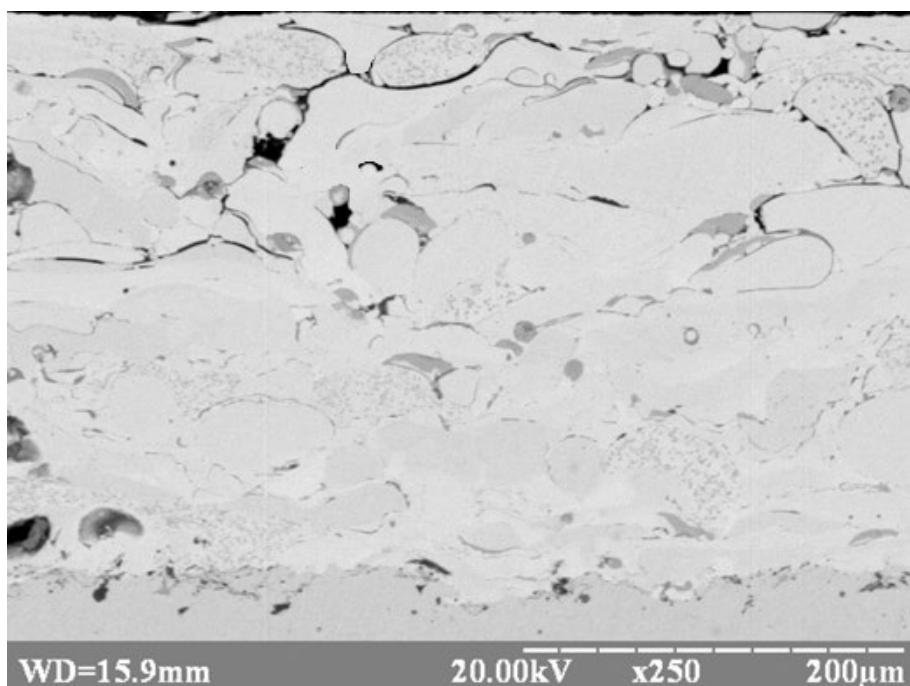


Рисунок 3.2. – План ділянки для підвищення зносостійкості штоку компресора

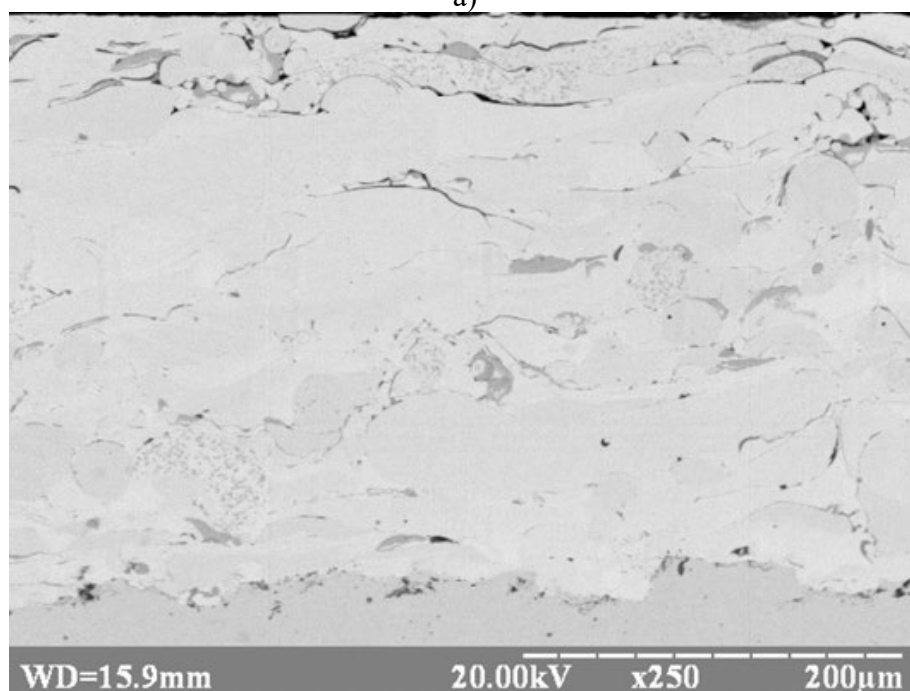
За наявності вищеперерахованого устаткування ділянка для напilenня відповідатиме пред'явленим вимогам.

3.4 Дослідження впливу нанодисперсного порошку Al_2O_3 на формування плазмових покриттів

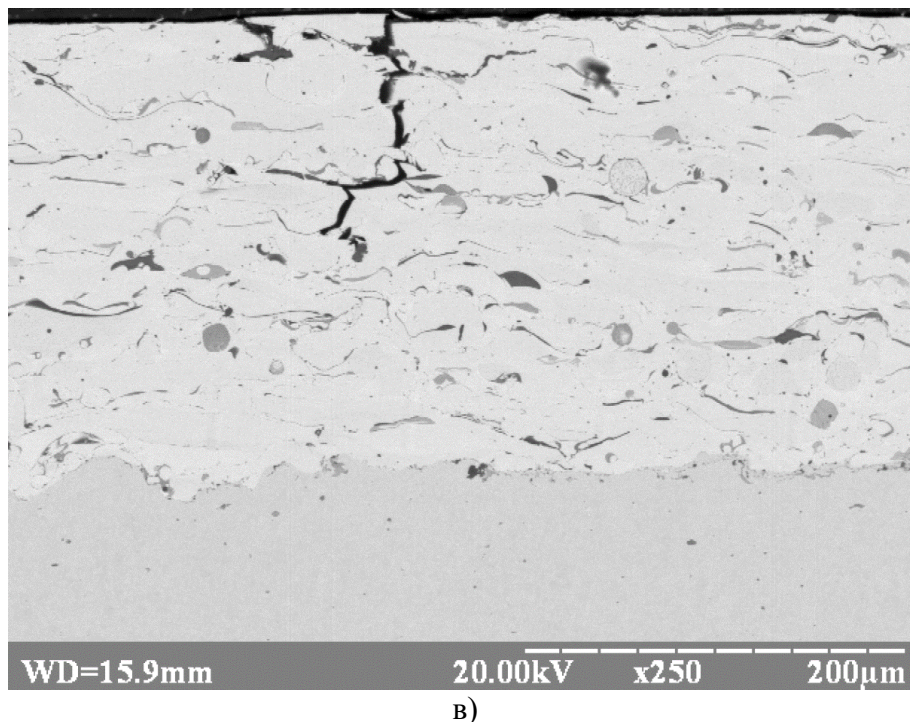
Для оцінки якості етапу напилення модифікованого самофлюсівного порошку системи Ni-Cr-B-Si, проведений аналіз мікроструктури покриттів на основі порошку ПГ-10Н-01 при додаванні наноконпонента Al_2O_3 , який представлений на рис. 3.3–3.4 [19].



a)



б)

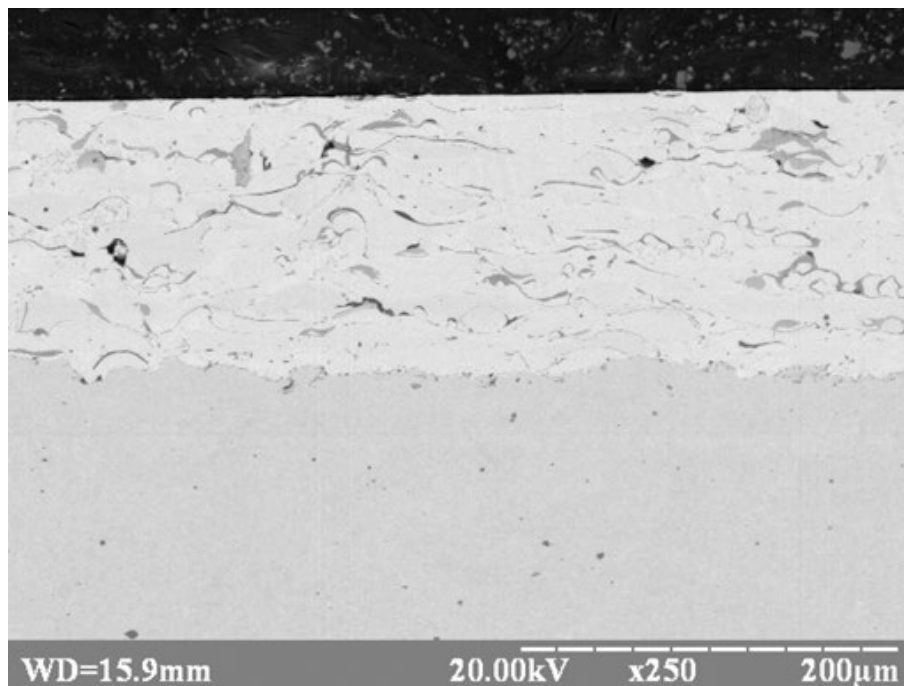


в)

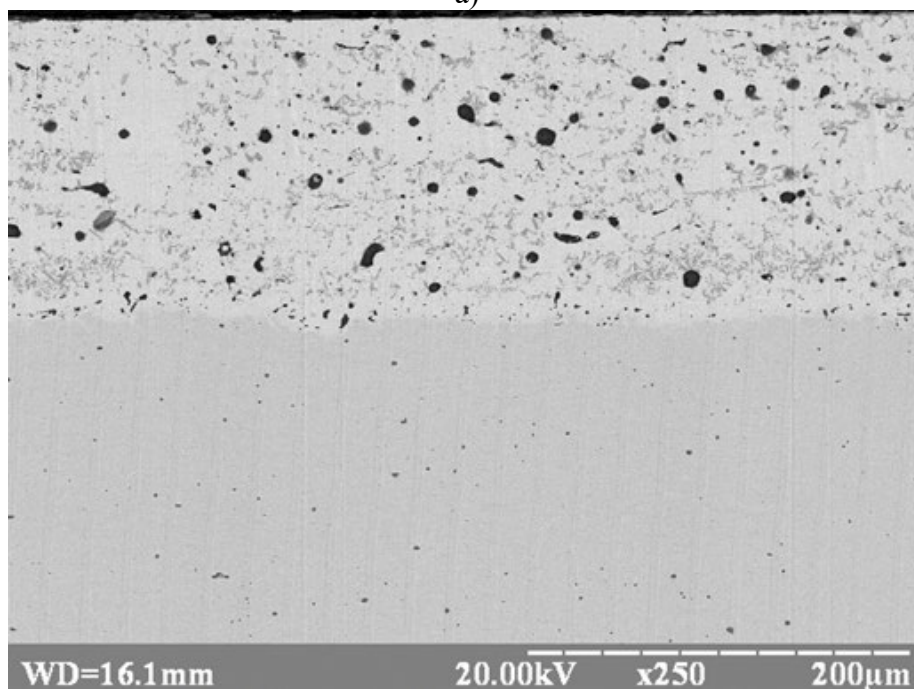
Рисунок 3.3 – Мікроструктура плазмового покриття системи Ni-Cr-B-Si (а), при додаванні 1,5 об.% (б) та 5 об.% (в) нанодисперсного порошку Al_2O_3

Металографія, яка наведена на рис. 3.3 [19] ілюструє мікроструктурні зміни в самофлюсівних покриттях після додавання нанопорошку Al_2O_3 . Після модифікації порошку для нанесення покриття нанодисперсними частинками Al_2O_3 у кількості 1,5 об.% аналіз мікроструктур показав високу однорідність та щільність будови покриття з мінімальними дефектами в зоні адгезійного контакту. В той час відбувається зменшення кількості пор, що підтверджує металографія, яка зображена на рис. 3.3, б. Підвищення кількості Al_2O_3 до 5 об.% призводить до появи несплавлених частинок, утворення по границях зерен несуцільностей ділянок протяжності близько 10 мкм, збільшення пір та мікротріщин, які розповсюджуються вглиб до основи від поверхні покриття (рис. 3.3, в).

Мікроструктури оплавлених та не оплавлених самофлюсівних покриттів системи Ni-Cr-B-Si на основі порошку ПГ-10Н-01 представлені на рис. 3.4 [19].



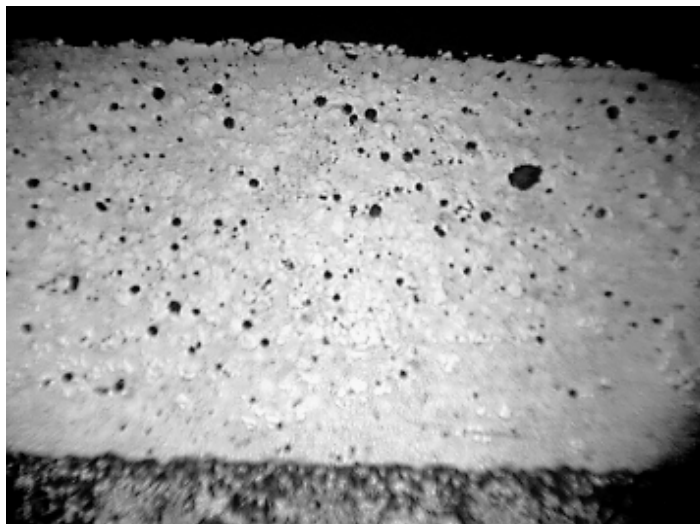
а)



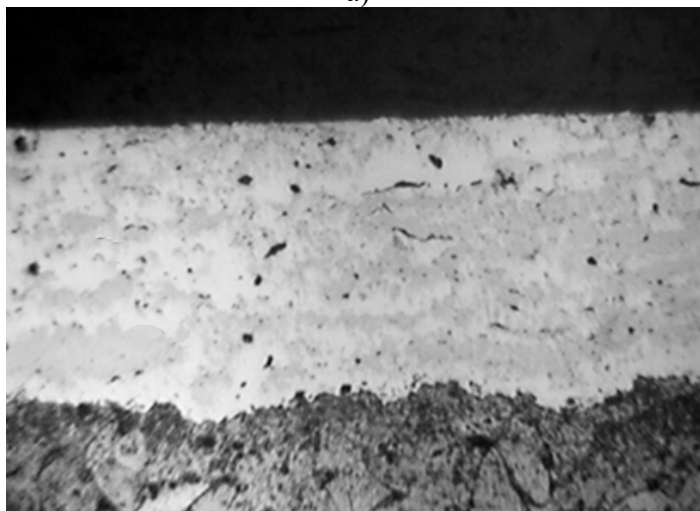
б)

Рисунок 3.4 – Мікроструктура плазмового покриття системи Ni-Cr-B-Si з додаванням 1,5об.% Al_2O_3 до (а) та після оплавлення (б) (x250)

На рис. 3.4 [19] представлені мікроструктури покриття плазмовим методом системи Ni-Cr-B-Si з порошку ПГ-10Н-01 після оплавлення з утворенням перехідних шарів.



а)



б)



в)

а – Ni-Cr-B-Si, б – Ni-Cr-B-Si + 1 % Al_2O_3 , в – Ni-Cr-B-Si + 5 % Al_2O_3

Рисунок 3.5 – Мікроструктура плазмового покриття з порошку системи Ni-Cr-B-Si після оплавлення та травлення електролітичним способом

Через присутність висококорозійних елементів у складі досліджуваного порошку, перехідну зону було виявлено після травлення у хлористому ангідриді.

Зміни, які відбулися після введення поошку в покриття, в значній мірі впливають на утворення та ріст перехідних шарів. Як наслідок відбуваються зміни механічних властивостей композиційних матеріалів. Внаслідок незначної тривалості процесу оплавлення, перехідна зона має незначну довжину 10–15 мкм. Однак цього достатньо для зняття залишкових напружень, збільшенню щільності та здійсненню сплавлення покриття з основою [36], що проявляється у проникненні нанесеного матеріалу у поверхневі шари (рис. 3.5, в). В результаті процесів коагуляції форма пір стає округлою (рис. 3.5, б) [19].

Результати мікроаналізу хімічного складу оплавлених та не оплавлених плазмових покриттів системи Ni-Cr-B-Si з модифікованого порошку ПГ-10Н-01 в окремих ділянках, проведеного за допомогою мікроаналізатора РЕМ 106і, наведено на рис. 3.6, 3.7 та у табл. 3.5, 3.6 [19].

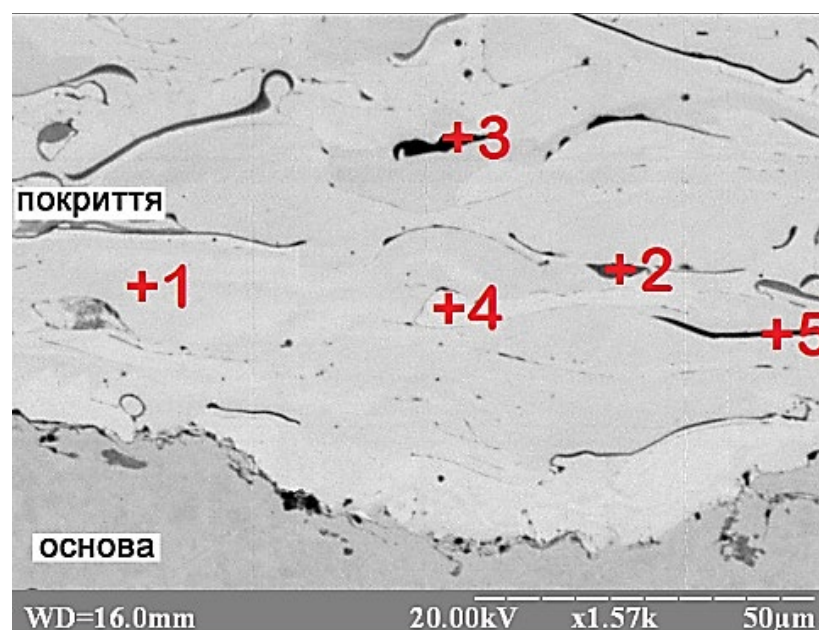
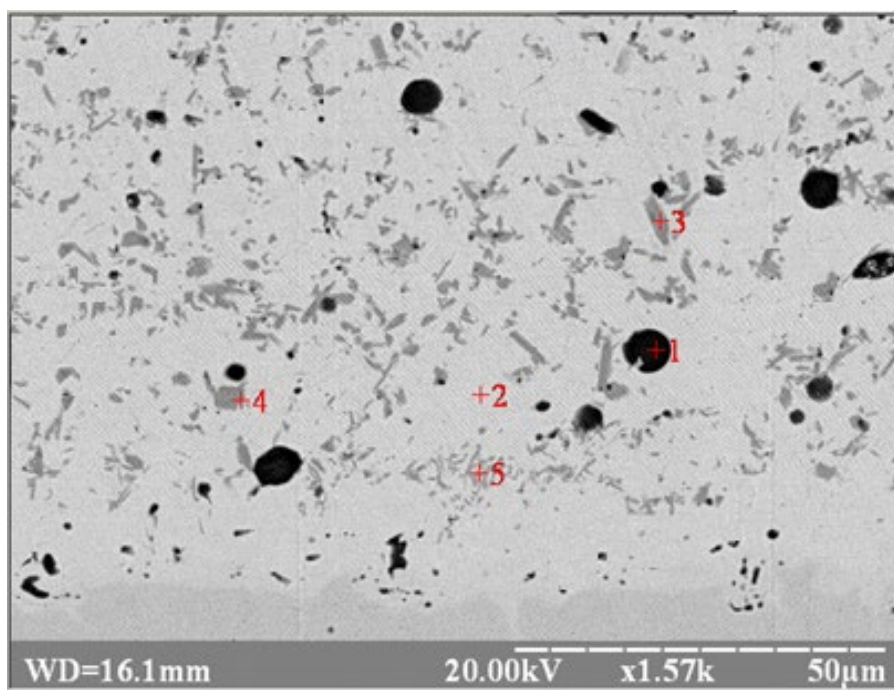


Рисунок 3.6 – Мікроструктура покриття системи Ni-Cr-B-Si при додаванні 1,5об.% Al_2O_3

Таблиця 3.5 – Хімічний склад покриття з порошку Ni-Cr-B-Si+1,5% Al₂O₃ [19]

Точки Елементи, об.%	1	2	3	4	5
Ni	83,73	48,35	64,48	87,74	71,98
Cr	12,45	33,32	20,21	7,36	20,6
Fe	2,82	16,43	12,16	4,58	4,38
Si	0,99	0,75	1,64	0,26	1,06
Al	–	1,15	1,52	0,06	1,98

Рисунок 3.7 – Мікроструктура оплавленого покриття системи Ni-Cr-B-Si при додаванні 1,5об.% Al₂O₃Таблиця 3.6 – Хімічний склад оплавленого покриття з порошку Ni-Cr-B-Si+1,5% Al₂O₃

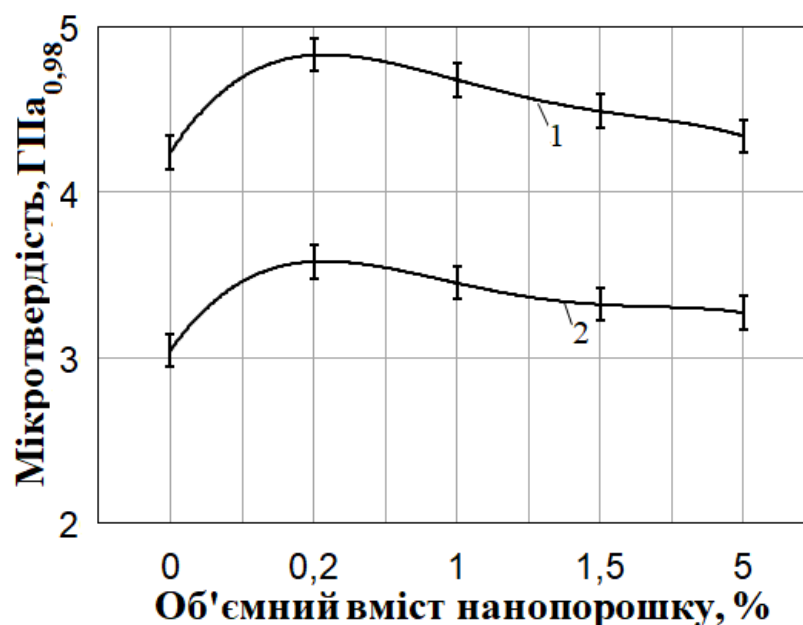
Точки Елементи, об.%	Перехідна зона	Точки				
		1	2	3	4	5
Ni	5,49	74,37	83,47	78,36	69,25	76,21
Fe	94,00	5,88	5,61	2,83	5,2	3,42
Cr	0,33	13,86	9,75	17,02	23,3	19,01
Si	0,19	3,96	1,09	0,16	0,84	0,61
Al	–	1,93	0,08	1,63	1,41	0,74

В результаті хімічного аналізу про нерівномірний розподіл елементів в структурному покритті можна зробити висновок, що алюміній, в основному

зосереджено в темних включеннях покриття (точки 3, 5 рис. 3.6), а після оплавлення у неметалевих округлих включеннях, які збагачені кремнієм (точка 1 рис. 3.7). Також алюміній можна побачити на границях зерен збагачені хромом (темно-сірі ділянки, точка 3 рис. 3.7) та нікелем (світло-сірі ділянки, точка 4 рис. 3.7). На основі отриманих лабораторних даних можна стверджувати про наявність в покритті нанодисперсних частинок Al_2O_3 .

Мікротвердість

На рис. 3.8 зображено результати експериментальних досліджень мікротвердості оплавлених та не оплавлених покриттів системи Ni-Cr-B-Si з додаванням нанопорошків Al_2O_3 у кількості 0,2, 1, 1,5 та 5 об.%.
 1 – без оплавлення; 2 – оплавлення покриття при 1050 °C



1 – без оплавлення; 2 – оплавлення покриття при 1050 °C

Рисунок 3.8 – Мікротвердість плазових покриттів системи Ni-Cr-B-Si

Максимальн мікротвердість розглянутих самофлюсівних покриттів на 1 од. ГПа зафіксовано при додаванні нанопорошку Al_2O_3 у кількості 0,2–1,0 об.% саме без оплавлення. При додатковому оплавленні покриття відбувалося падіння мікротвердості з 4,8 до 3,5 ГПа. Така дія пояснюється покращенням структури, падінням залишкових напружень, а також фазовими перетвореннями.

Присутність нанодисперсних частинок в нанесених покриттях можна спостерігати за допомогою дифрактограми плазових самофлюсівних покриттів системи Ni-Cr-B-Si з додаванням нанопорошків модифікованих Al_2O_3 (рис. 3.9) [19].

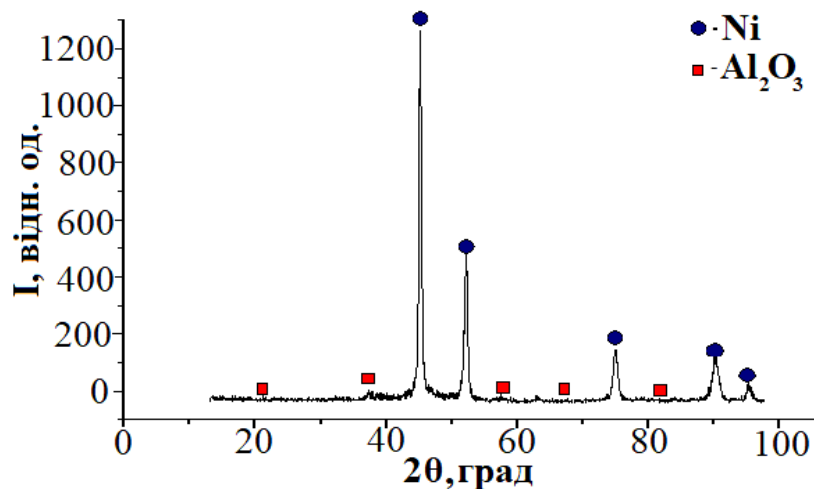
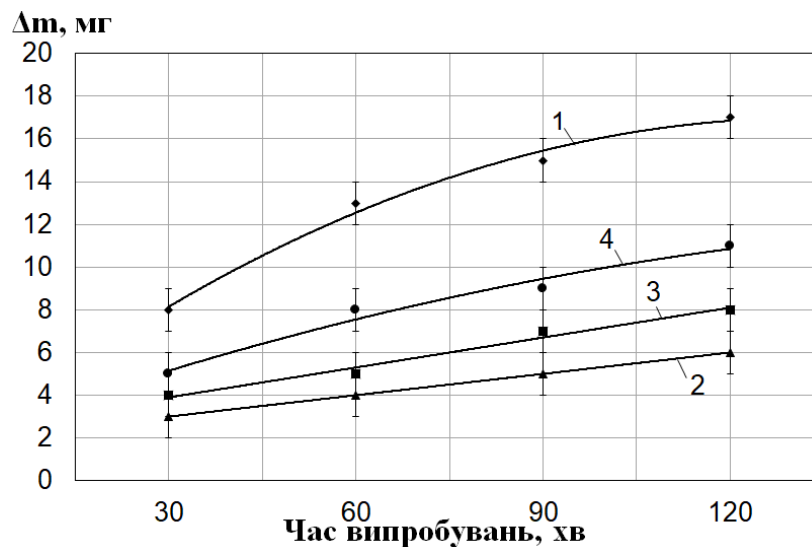


Рисунок 3.9 – Дифрактометричний аналіз плазового самофлюсівного покриття системи Ni-Cr-B-Si з добавкою нанодисперсного порошку Al_2O_3

Наявність з'єднань Al_2O_3 лише у якості фонового вигляду (рис. 4.7), пояснюється застосуванням аморфного Al_2O_3 у якості модифікатора, кристалічні ґратки в його структурі майже не видимі для рентгенівського дифрактометричного променя. В результаті дослідження було з'ясовано, що завдяки значним температурам плазового струменя фазовий склад покриття з нанодисперсними частинками відрізняється від вихідного напилюваного порошку.

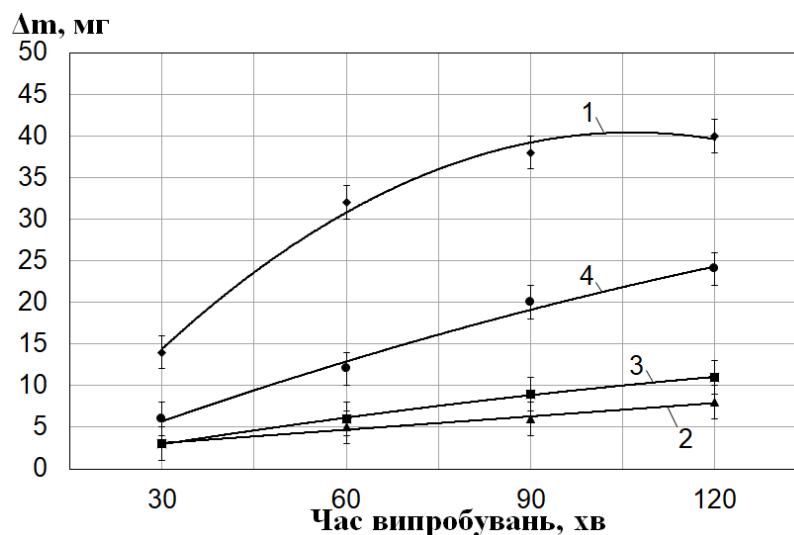
Зносостійкість самофлюсівних покриттів системи Ni-Cr-B-Si

Машина тертя СМЦ-2 призначена для випробування зразків на зношення тертям. Дослідження проводилося за схемою ролик – плоске контртіло, що дозволило встановити вплив нанодисперсного включення на рівень підвищення зносостійкості самофлюсівних покриттів системи Ni-Cr-B-Si (ПГ-10Н-01) (рис. 3.10 – 3.11) [19].



1- Ni-Cr-B-Si; 2- Ni-Cr-B-Si+0,2%Al₂O₃; 3- Ni-Cr-B-Si+1%Al₂O₃;
4- Ni-Cr-B-Si+5%Al₂O₃

Рисунок 3.10 – Зносостійкість плазмових покриттів з порошку системи Ni-Cr-B-Si [19]



1- Ni-Cr-B-Si; 2- Ni-Cr-B-Si+0,2%Al₂O₃; 3- Ni-Cr-B-Si+1%Al₂O₃; 4- Ni-Cr-B-Si+5%Al₂O₃

Рисунок 3.11 – Зносостійкість плазмових покриттів з порошку системи Ni-Cr-B-Si після оплавлення

Результати досліджень на тертя по втраті маси покриттів з модифікованого порошку ПГ-10Н-01, свідчать про те, що найбільше зростання зносостійкості покриттів відбувається при концентрації Al₂O₃ у кількості 0,2 об.%. Після тертя, яке тривало 2 години, втрата маси зразків без наномодифікаторів підвищилась до 2,8 (рис. 3.10), а після оплавлення цих самофлюсівних покриттів у 5,7 рази (рис.

3.11) [19]. Нанодисперсний порошок Al_2O_3 додають для зберігання високих показників зносостійкості (3–4 мг за 60 хв) самофлюсівних покриттів навіть після їх оплавлення, але за даних умов мікротвердість помітно знижується з 4,8 до 3,5 ГПа. Результати зносостійкості покриттів, які були отримані при додаванні модифікованих нанодисперсних домішок схожі з широко відомим порошком ПС-12НВК-01.

Залежності, які були отримані в результаті лабораторних досліджень дозволили проаналізувати кінетику зношування самофлюсівних покриттів, а також рівень їх зносостійкості.

Введення об'ємних співвідношень нанодисперсних компонентів при нанесенні покриття впливає на властивості поверхні зразків. Особливі умови нанодисперсних порошків спостерігаються при високій дисперсності (5–41 нм), присутності на поверхні частинок вільних зв'язків, які активізуються при високих температурах в умовах нанесення плазмового покриття. В результаті відбувається збільшення поверхневої енергії, з'являється можливість реалізації механізмів модифікування 1-го та 2-го роду. Отже, в результаті експерименту в умовах абразивного зношування підтверджено позитивний вплив нанодисперсного порошку Al_2O_3 на зносостійкість самофлюсівних покриттів системи Ni-Cr-B-Si (ПГ-10Н-01).

Не дивлячись на те, що вміст нанопорошків складає всього декілька відсотків від загального об'єму, наявність певних фізичних явищ в ньому забезпечують комплексне підвищення фізико-механічних характеристик (мікротвердість та міцність зчеплення) та підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкість, корозійна стійкість).

Висновки:

Плазмове покриття на основі самофлюсівного порошку системи Ni-Cr-B-Si (ПГ-10Н-01) – задовольняє вимоги висунутим, а саме: має високу міцність зчеплення з основою; має більш високу стійкість до абразивного зношення ніж основа; характеризується високою теплопровідністю; має гарну електропровідність; дане з'єднання нетоксичний.

З технологічної точки зору процес плазмового напилення є найбільш оптимальним й економічно вигідним процесом для нанесення покриттів на шток бурового насосу.

Розроблена схема технологічного процесу нанесення покриття, яка включає в себе такі заходи: просіювання та сушка порошку; очищення деталі; сушка деталі; ізоляція поверхні, яка не підлягає напиленню; попередня обробка поверхні для її активізації; контроль; напилення газотермічного покриття; проміжний контроль; шліфування; контроль якості; консервація деталі та транспортування на склад.

1. Модифікування самофлюсівного порошку ПГ-10Н-01 нанодисперсними частинками Al_2O_3 у кількості 1,5 об.% мікроструктурний аналіз показав щільну однорідну будову покриття з мінімальною кількістю дефектів в зоні контакту покриття - основа і зменшенні кількості пір. При збільшенні частки Al_2O_3 у покритті з'являються тріщини.

2. Наявність нанодисперсного порошку забезпечує формування ділянок з високою адгезійною міцністю, за рахунок чого відбувається зменшення мікротріщин в окремих ділянках плазмових покриттів, завдяки кращому проплавленню керамічного ядра.

3. Зміни, які відбулися після введення нанодисперсних частинок в покриття, в значній мірі впливають на процеси утворення та росту перехідних шарів. Як наслідок відбуваються зміни механічних властивостей композиційних матеріалів.

4. Результати хімічного аналізу свідчать про нерівномірність розподілу елементів в структурі покриття.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

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

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

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

4.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

За своїм походженням та природою дії на організм людини шкідливі та небезпечні виробничі фактори поділяють на фізичні, хімічні, психофізіологічні, біологічні та соціальні [14].

Процеси зварювання, наплавлення, різання, напилення, пайка металів та інші споріднені процеси супроводжуються рядом шкідливих та небезпечних виробничих наслідків [34]. Хімічні і фізичні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які виникають під час дугового наплавлення приведені в таблиці 4.1.

При напиленні в зону дихання працюючих можуть потрапляти зварювальні аерозолі, у складі яких присутні оксиди різноманітних металів (марганцю, титану, алюмінію, заліза тощо) та інші сполуки, а також токсичні гази (оксид вуглецю, оксиди азоту, озон, фтористий водень, та ін.) [35].

Таблиця 4.1 - Шкідливі та небезпечні виробничі фактори при напиленні [42]:

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

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

Кількість, склад і токсичність зварювальних аерозолів залежать від хімічного складу зварювальних матеріалів і виду технологічного процесу [35].

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

Причиною ураження електричним струмом може бути дотик до відкритих струмоведучих частин, які перебувають під напругою: до знеструмлених струмоведучих частин, на яких напруга виникає випадково; до неструмоведучих частин, що виявилися під напругою через дефекти ізоляції; враження електричною дугою і кроковою напругою.

Оскільки дипломна робота описує вплив нанопорошку на напилений метал, то одним із небезпечних факторів є наноматеріали, і їх використання супроводжується особливими ризиками. Необхідно встановити правила техніки

безпеки відповідно до ризиків із метою зниження впливу шкідливих чинників на робітника або робітників.

З точки зору охорони здоров'я робітників найнебезпечнішим видом наноматеріалів є сухі наночастинки, їх скупчення і агрегати – саме в такому вигляді і поставляється нанопорошок, застосований при дослідженнях. При виготовленні свічок для наплення потрібно виконувати роботу вдягнувши захисні гумові рукавиці та захисний одяг, оскільки порошок нанорозмірного діапазону може потрапляти у відкриті пори шкіри, а також носити спеціальні респіратори, що можуть затримувати настільки дрібні частинки. Хоча в даний час немає загальноприйнятого керівництва, заснованого на наукових даних, про вибір захисного одягу та інших засобів захисту від впливу наночастинок, також мінімальна кількість інформації про ефективність існуючих засобів індивідуального захисту, близько 84% роботодавців вимагають застосування даних засобів, при роботі з наноматеріалами. На робочому місці використання захисного одягу значно знижує вплив на шкірні покриви [34]. Для поліпшення умов праці також можна постійно очищувати повітря в приміщенні.

4.2 Інженерні рішення для забезпечення безпеки праці

4.2.1 Вимоги до технологічного процесу наплення

Організація і робочі місця облаштовані згідно ДСТУ 2456-94.

Вимоги безпеки праці до процесу дугового наплення відповідають ДСТУ 2456-94.

В обов'язковому порядку застосовуються пристрої місцевої витяжної вентиляції з системами очищення видаленого повітря від аерозолів та газів у відповідності з вимогами ДБН В.2.5-67:2013.

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

На обладнання, що гучно шумить, встановлюють, якщо це можливо за умовами його експлуатації, спеціальні звукоізолюючі кожухи. Зниження шуму

вентиляційних установок, що обслуговують зварювальні ділянки і пости, досягається встановленням у всмоктувальних і нагнітаючих повітропроводах глушників шуму – трубчастих або пластинчастих.

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

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

4.2.2 Вимоги до системи вентиляції

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

При проектуванні вентиляції дотримуються таких вимог:

- вентиляція має забезпечувати необхідну чистоту повітря та параметри мікроклімату виробничого приміщення відповідно до ДСН 3.3.6.042-99;
- загальнообмінна вентиляція має забезпечувати ефективний баланс між об'ємами повітря, що надходять до приміщення та видаляються з нього;
- система вентиляції не повинна створювати додаткових шкідливих і небезпечних факторів (переохолодження, перегрів, шум, вібрація);
- вентиляційне обладнання не повинно знижувати продуктивність праці та впливати на якість продукції;
- вентиляція повинна забезпечувати економічність та надійність при експлуатації.

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

4.2.3 Засоби індивідуального захисту

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

Спеціальне взуття відповідає вимогам ДСТУ 3835-98 «Взуття спеціальне з верхом із шкіри для захисту від механічних впливів». Забороняється працювати у взутті з відкритою шнуровкою чи металічними цвяхами в підошві.

4.2.4 Електробезпека

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

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

Вимоги до виконання захисного заземлення на всіх видах обладнання для нанесення покриття та гранично допустимі рівні напруги дотику та струмів, що можуть виникати на зварювальному обладнанні, відповідають ПУЕ-2017.

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

З'єднування джерел живлення зі зварювальними установками при напilenні здійснюється кабелями. Окремі елементи зварювального кола, а також відрізки зварювальних кабелів при нарощуванні довжини повинні бути з'єднані роз'ємними з'єднувальними муфтами. Струмопідвідні кабелі зварювального кола захищені та ізольовані по всій довжині від механічних ушкоджень.

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

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

Електрозварювальний інструмент не має відкритих струмоведучих частин, а рукоятки виготовляються зі струмоізолюючих матеріалів. Забороняється залишати на робочому місці електрозварювальний інструмент, що знаходиться під напругою.

4.3 Розрахунок інженерного рішення

Відповідно з ДСТУ 2456-94 при плазмовому напиленні використовується місцева вентиляція. В якості місцевої вентиляції будемо використовувати пересувний фільтровентиляційний агрегат «Темп-2000» (див. рис. 4.1).

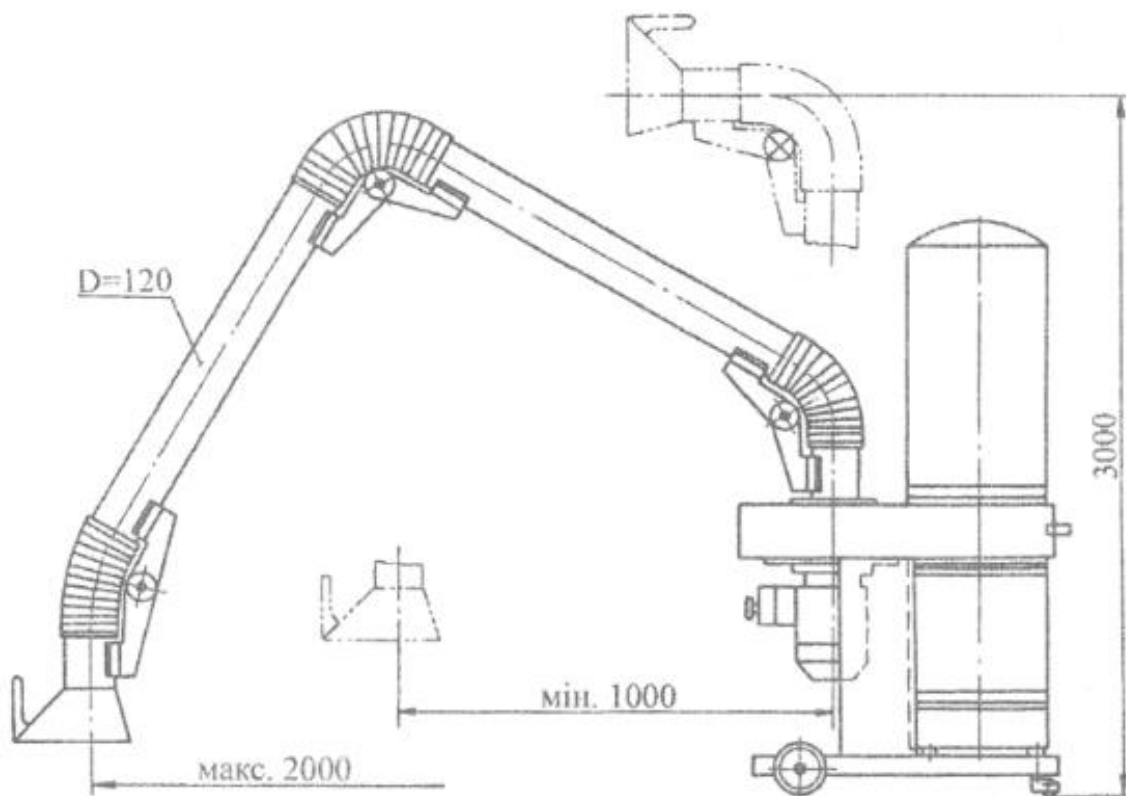


Рисунок. 4.1 – Пересувний фільтровентиляційний агрегат «Темп-2000» [45].

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

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

Розрахунок об'єму повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією м, більш доцільно визначати, виходячи з заданої швидкості всмоктування біля джерела виділення шкідливих речовин, характеристики спектру швидкостей всмоктування для певної конструкції всмоктувального отвору та наявності поверхонь, що огорожують зону всмоктування. В цьому випадку:

$$L_m = 3600 F_0 V_0, \quad (4.1)$$

де F_0 – площа відкритого перерізу витяжного отвору відсмоктувача, м²; V_0 – швидкість всмоктування повітря в отворі відсмоктувача, м/с.

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

$$F_0 = \pi r^2, \quad (4.2)$$

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

$$F_0 = 3.14 \cdot 0.09^2 = 0.025 \text{ м}^2$$

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

Швидкість руху повітря, що створюється місцевими відсмоктувачами біля джерел виділення шкідливих речовин, для плазмового напilenня повинна бути не менше $V_x = 1$ м/с.

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

$$V_0=16V_x(X/d)_2, \quad (4.3)$$

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

$$V_0=16 \cdot 1 \cdot (0.12/0.12)^2=16 \text{ м/с}$$

Об'єм повітря, яке необхідно видалити місцевою вентиляцією:

$$L_m=3600 \cdot 0.025 \cdot 16=1465 \text{ м}^3/\text{год}$$

4.4 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

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

4.4.1 Пожежна безпека

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

Пожежна безпека (ГОСТ 12.1.004-85) забезпечується:

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

При організації технологічного процесу дотримуються усіх вимог електростатичної іскрової безпеки (ГОСТ 12.1.018-79).

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

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

Приміщення в обов'язковому порядку обладнується засобами загального та індивідуального захисту людей від небезпечних факторів пожежі та захисту від диму.

На виробничих ділянках приміщення, де застосовується метод напилення, передбачено встановлення протипожежних щитків, які укомплектовуються вуглекислотними вогнегасниками, ломами, відрами та сокирами. Біля щитів передбачаємо наявність ящиків з піском, сухість якого регулярно перевіряється.

Для гасіння можливих пожеж передбачаємо також використання азбестових покривал.

Для автоматичного виявлення пожеж в виробничому приміщенні, в якому виконується напилення, передбачаємо наявність датчиків, які своєчасно сповіщають про виниклу пожежу і дають команду на вмикання автоматичної системи гасіння пожежі.

4.4.2 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

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

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

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

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

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

Висновки: розроблена технологія нанесення покриття виконується з використанням обладнання для плазмового напилення. Враховуючи це необхідно чітко дотримуватися вимог, щодо приміщення, в якому розташована дільниця для напилення, а також персоналу, який працює на цій дільниці.

В приміщенні для напилення повинна бути забезпечена достатня освітленість, яка досягається шляхом сумісного освітлення, при якому природне бокове одностороннє освітлення доповнюється штучним загальним. В якості джерела штучного освітлення використовуються газорозрядні лампи

При виконанні процесу напилення можливе травмування електричним струмом. Для забезпечення усунення причин пошкодження електричним струмом необхідно заізолювати струмопідвідні частини машин та механізмів, надійно заземлити вакуумну камеру, водяний насос та пульт керування.

Для попередження виникнення пожежі необхідно вибрати оптимальний переріз проводів та ізоляції, дотримуватися вимог протипожежної безпеки.

На ділянці плазмового напилення треба слідкувати щоб параметри мікроклімату відповідали безпечним величинам, які становлять: температура повітря в холодний час 18-20°C, а в теплий час 21-23°C; відносна вологість повітря 40-60%.

Шкідливість для здоров'я працюючих становить установка для струменево-абразивної обробки виробів перед напиленням. Корундовий пісок при зіткненні з поверхнею оброблюваної деталі виділяє пил. Тому для ділянки напилення був зроблений розрахунок місцевої вентиляції, в результаті якого був обраний вентилятор та діаметр повітровідводу.

5 СТАРТАП - ПРОЕКТ

Стартап, за визначенням, – нещодавно створена компанія (можливо, ще не зареєстрована офіційно, але планує стати офіційною), що будує свій бізнес на основі інновацій або інноваційних технологій, не вийшла на ринок або почала на нього виходити і що володіє обмеженими ресурсами. Часто стартап-компанії називають «гаражними». Особливо часто термін «стартап» застосовується відносно інтернет-компаній та інших фірм, що працюють в сфері ІТ, проте, це поняття розповсюджується і на інші сфери діяльності [25].

Відповідно до визначення, стартапом може бути тільки створення продукту: програмного або поставленого на конвеєр фізичного. Адже тільки продукт, на відміну від послуги, можна відтворювати багаторазово, при цьому не збільшуючи штат співробітників пропорційно кількості продажів.

Для розроблення стартап проекту було обрано деталь яку можна виготовити із застосуванням даного способу наплавлення – гальмівний диск.

5.1 Маркетинговий аналіз стартап-проекту

Ідея проекту у застосуванні напилення із введенням нанокomпоненту для створення більш витривалого штоку бурового насосу із недорогої сталевий основи. Найчастіше, виробники штоків бурових насосів наголошують, що для безпечного їх застосування товщина самих дисків має бути не меншою ніж 5 мм (цифра іноді відрізняється). Отже для матеріалу основи візьмемо відносно дешеву сталь, і наплавимо зносостійкий шар із застосуванням модифікованого самофлюсівного порошку системи Ni-Cr-B-Si (ПГ-10Н-01).

Найчастіше штоки виготовляють з жароміцної сталі. Популярність цього матеріалу пояснюється хорошими фрикційними властивостями і невисокою вартістю виробництва. Поряд з цими перевагами, сталь має ряд істотних недоліків, які обмежують його використання. Детль працює в умовах динамічних навантажень, а також в абразивному та агресивному середовищах.

5.2 Організація стартап-проекту

Перед початком виробництва необхідно провести перелік матеріалів та обладнання для виготовлення штоків. Спочатку механізація проекту може стосуватись тільки наплавлення, інші операції будуть робитися вручну. Отже, очистка, різання та підготовка матеріалу для наплавлення буде потребувати тільки робочого персоналу та ручного інструменту. Для надання диску необхідної форми необхідно проточити його на фрезерному верстаті.

Для напилення необхідне обладнання, розглянуте в розділі 2: автомат Київ-7, напівавтомат УН-115, джерело живлення, плазмотрон ПУН-1.

При умові використання лише одного автомату для напилення умовно можемо розрахувати кількість штоків, зносостійкість яких можна підвищити за одну годину. При ідеальних умовах час, який ми витратимо на заміну деталей одна на одну, буде займати не більше однієї хвилини, а отже увесь інший час будемо вважати часом напилення.

Напилювання здійснюється на шток, діаметром 600 мм та довжиною напилюваної частини 120мм. Товщина напилюваного шару складатиме 0,20 мм, отже для напилення потрібно 1 прохід. При швидкості напилення у 16 м/год кількість напилених штоків вийде достатньою для подальшого ефективного застосування вибраного обладнання.

5.3 Фінансово-економічний аналіз

Для аналізу ринкових можливостей звернемося до існуючого асортименту штоків. Ціни на 1 шток бурового насоса можуть бути досить різноманітними: від 1000 грн до 5000 грн.

Як матеріал основи використаємо таку ж сталь як і в дипломній роботі. Лист сталі 38Х2МЮА товщиною 5 мм та габаритними розмірами 1500х6000 коштує 12540 грн. При вирізанні з одного листа вийде 105 заготовок для дисків. Отже 1 заготовка буде коштувати 97 грн.

Провівши розрахунки визначили, що для напилення одного штока ми витратимо 0,26 кг наплавочного дроту. Ціна 1 кг дроту близько 90 грн. Враховуючи коефіцієнт на втрати вирахуємо, що на виготовлення 1 диску буде затрачено 0,29 кг зварювального дроту. Отже, вартість напиленого шару для одного штоку буде коштувати 23 грн.

Для розрахунку електроенергії будемо враховувати час на підготовчі та фінішні операції рівним часу наплавлення, і не будемо враховувати простій обладнання. При роботі на неповній потужності джерело зварювального струму використовує близько 20 кВт електроенергії за годину. Фрезерний верстат має потужність 4,2 кВт, і врахуємо витрати на освітлення та ручний інструмент – приведемо до однієї цифри, нехай це буде 2 кВт. Отже сумарно виробництво гальмівного диску займає 25 хвилин (поки 1 заготовка напилюється, інша оброблюється на фрезерному верстаті або ручним інструментом), а сумарні витрати на електроенергію дорівнюють 24,2 кВт за годину. Отже для виготовлення одного штоку буде затрачено 10,1 кВт електроенергії. На сьогоднішній день 1 кВт електроенергії коштує 1,74 грн, і після підрахунку отримаємо, що при виробництві одного гальмівного штоку на електроенергію буде витрачено 18 грн.

Отже попередньою ціною виготовлення 1 диску буде 141 грн, без врахування витрат на заробітну плату.

Із урахуванням характеристик ідеї проекту та вимог споживачів до товару визначено перелік факторів конкурентоспроможності і проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту в таблиці.

Таблиця 5.1 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Надійність							X	
2	Безпека				X				
3	Ціна		X						
4	Маса деталі							X	
5	Серійне виробництво					X			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту було складання SWOT-аналізу методу підвищення зносостійкості (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), що наведено у таблиці, на основі ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Таблиця 5.2 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Менша собівартість 2. Покращені умови безпеки 3. Простий спосіб введення добавки 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Більші витрати матеріалу 2. Відносно низька швидкість напilenня
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Впровадження в найпоширеніші методи підвищення зносостійкості деталей – напilenня недорогими матеріалами 2. Відсутність необхідності придбання додаткового або сучаснішого обладнання 3. Можливість регулювання способу введення та масової частки добавок 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Неохоче використання підприємствами України новітніх технологій 2. Висока конкуренцій інших видів добавок (наприклад, оксиди)

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській дисертації розглянута можливість впровадження у виробництво технології підвищення зносостійкості штоку бурового насоса плазмовим напиленням в умовах сучасного економічного розвитку української промисловості та розроблено технологічний процес. В процесі роботи:

1. Визначено, що плазмове напилення дає змогу отримувати покриття з заданими властивостями напилюваного шару на виробах різних форм і розмірів. В якості матеріалу для напилення обрано самофлюсівний ПГ-10Н-01, в суміші з нанопорошком оксиду алюмінію. Покриття такого типу мають пластичність і достатню міцність, здатність зміцнюватись при терті, присутність стійких до зношування карбідів забезпечують високу зносостійкість плазмово-дугового покриття.

2. Розроблена схема технологічного процесу нанесення покриття з використанням напівавтомата для плазмового напилення 15ВБ та установки “Київ 7”, включає всі основні та проміжні операції від підготовки поверхні до отримання повністю готового виробу з відповідним устаткуванням та оснащенням.

3. Структурні дослідження показали, що введення нанокomпоненту суттєво структуру металу не змінює, проте позитивно впливає на зносостійкість шляхом подрібнення його структури.

4. На основі експериментальних досліджень зносостійкості та мікротвердості плазмових покриттів, встановлено, що з вмістом нанодисперсного Al_2O_3 на рівні 0,2–1,0 об.% зносостійкість покриття зростає у 2,8–5,7 рази; мікротвердість підвищується на 18–34% в порівнянні з вихідним порошковим матеріалом ПГ-10-01.

5. Розроблена технологія нанесення покриття виконується з використанням напівавтомата для плазмового напилення 15ВБ та установки “Київ 7”. Враховуючи це, чітко дотримуються вимоги, щодо приміщення, в якому розташована ділянка для напилення, а також персоналу, який працює на цій ділянці.

6. Аналіз стартап-проекту показує, що застосування даної технології з точки зору економічної доцільності є можливим і перспективним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина – М.: Машиностроение, 1989.- 640с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
3. Черновол М.И. Повышение качества восстановления деталей машин/ М.И. Черновол, С.Е. Поединок, Н.Е. Степанов.- Киев: Техника, 1989.-168с.
4. Газотермическое напыление композиционных порошков/А.Я. Кулик, Ю.С. Борисов, А.С. Мнухин, М.Д. Никитин.–Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985.–199 с.
5. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко – К.: Наукова думка, 1987.– 544с.
6. Кудинов В.В. Плазменные покрытия/ В.В. Кудинов.- М.: Наука, 1977.– 184 с.
7. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: Наукова думка, 2007. – 557 с.
8. Кудинов В.В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. – М.: Машиностроение.– 1981. – 192 с.
9. Кудинов В.В. *Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование*/ В.В. Кудинов, Г.В. Бобров. – М.: Металлургия, 1992. - 432с.
10. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др.– Минск: Бел. навука, 1998. – 583 с.
11. Дубовий О.М. Технологія напilenня покриттів / О.М. Дубовий, Т.А. Янковець. – Миколаїв: НУК, 2007- 236 с.
12. <http://firstuc.prom.ua/p22376076-moechnye-ustanovki-mojka.html>
13. Корн Н.Я. Обработка деталей, наплавленных износостойкими композиционными материалами // Машиностроитель.– 1981.– №12.–37 с.
14. Левченко О.Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник для студентів зварювальних спеціальностей / О.Г. Левченко. – К.: Основа, 2010.–240 с.

15. Goncharov V.L., Lakhotkin Yu.V., Kuzmin V.P., et al., Corrosion resistance of tungsten carbide coatings deposited from gas phase. // The European corrosion congress «EUROCOR 2003». – Budapest, Hungary. – 2003. – Book of abstracts. – P. 309.
16. Патент на винахід UA № 17727 «А». Вібраційний брудознімач. Гладкий С.І., Климишин М.Д., Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Соловка А.М.
17. Авторское свидетельство №1516881 «Устройство для испытания пары трения на износ при возвратно – поступательном движении». Березанский А.С., Парайко Ю.І., Бурда М.Й., Драгомирецький Я. М, Шандрик В.Н.
18. Патент на винахід UA № 21858 «А» Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та спрацювання. Гладкий С.І., Бурда М.Й., Парайко Ю.І., Малько Б.Д.
19. Фурман В.К. Дисертація «Підвищення експлуатаційних властивостей плазмових покриттів із застосуванням нанодисперсних порошків».
20. Смирнов І.В. Вплив домішок нанодисперсних сполук оксидів на зносо- та корозійну стійкість плазмово-напиленних покриттів / І.В. Смирнов, А.В. Чорний, В.К. Фурман, Н.А. Долгов // Науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування», Київ. – 2017. – №1(74) – С. 14-22.
21. Фурман В.К. Зміцнення плазмових покриттів системи Ni-Cr-B-Si з застосуванням нанопорошків / В.К. Фурман, О.С. Шагієв, А.В. Чорний, І.В. Смирнов, А.Ю. Андрейцев // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – м. Чернігів. – 2016. – 26-29 квітня. – С. 257-259.
22. Чорний А.В. Відновлення емалевих покриттів плазмовим напиленням плакованих порошків / А.В. Чорний, І.В. Смирнов, М.Л. Зіберов // Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. – 2011. – т.2. – №61. – С. 44-47
23. Смирнов І.В. Вплив нанопорошків на механічні властивості плазмовонапиленних покриттів / І.В. Смирнов, М.А. Долгов, В.К. Фурман, Н.В. Бабич, А.Ю. Андрейцев // Збірник наукових праць V всеукраїнської науковотехнічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні», 8-12 лютого. – Львів. – 2016. – С. 126-128.

24. Астахов Е.А. Антифрикционные свойства и коррозионная стойкость детонационного покрытия из Al_2O_3 , применяемого в машиностроении / Е.А. Астахов // Автом. Сварка. – 2004. – № 1. – С. 20-22.
25. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Стартап>
26. Копылов В.И. Комбинированные способы получения порошковых смесей с нанокристаллическими составляющими для газотермических покрытий / В.И. Копылов, И.В. Смирнов, И.А. Селиверстов // Материаловедение тугоплавких соединений: достижения и проблемы: Междунар. Науч.–техн. конф., тезисы докл., Киев, – 2008. – С. 196.
27. Пащенко В.Н. Применение внешнего магнитного поля для формирования газопорошкового потока при плазменном нанесении покрытий / Альманах современной науки и образования, – № 7 (85). – 2014. – С.102-106.
28. Ю. І. Парайко, канд.техн.наук, доц. «ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»
29. Борисов Ю.С. Плазменные порошковые покрытия / Ю.С. Борисов, А.Л. Борисова, – Киев: Техника, 1986. – 223 с.
30. Смирнов І.В. Застосування нанопорошків оксидів при зварюванні та плазмовому напиленні покриттів / І.В. Смирнов, В.Д. Кузнецов, К.П. Шаповалов, А.В. Чорний // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2014. – № 1 (32). – С. 228-233
31. Смирнов И.В. Влияние нанодисперсных модификаторов на структуру и свойства плазменно-напыленных покрытий / И.В. Смирнов, А.В. Чёрный, В.К. Фурман, Н.А. Долгов // Міжнародний науково-технічний журнал «Наукові вісті» НТУУ "КПІ", Матеріалознавство та машинобудування. – 2017. – №5 – С. 65-71
32. Фурман В.К. Повышение эксплуатационных свойств плазменнонапыленных покрытий, модифицированных нанопорошками / В.К. Фурман, А.В. Чёрный, И.В. Смирнов, Н.А. Долгов // Материалы V Международной научной конференции «Наноструктурные материалы – 2016: Беларусь – Россия – Украина: НАНО-2016». – Минск. – 2016. – 22-25 ноября. – С. 106- 109

33. Смирнов І.В. Вплив домішок нанодисперсних сполук оксидів на зносо- та корозійну стійкість плазмово-напилених покриттів / І.В. Смирнов, А.В. Чорний, В.К. Фурман, Н.А. Долгов // Науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування», Київ. – 2017. – №1(74) – С. 14-22.
34. Левченко О. Г., Метлицкий В. А. Новые средства защиты от сварочных аэрозолей. – Киев: Экотехнология, 1999.
35. Левченко О.Г. Гігієна праці та виробнича санітарія у зварювальному виробництві. Навчальний посібник для студентів зварювальних спеціальностей.— К.: Основа, 2010.— 98 с.
36. Астахов Е.А. Антифрикционные свойства и коррозионная стойкость детонационного покрытия из Al_2O_3 , применяемого в машиностроении / Е.А. Астахов // Автом. Сварка. – 2004. – № 1. – С. 20-22.
37. Фурман В.К. Вплив на зносостійкість плазмових покриттів додавання наночастинок оксиду алюмінію / В.К. Фурман, І.В. Смирнов, А.В. Чорний // Матеріали ІІ всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та наукових співробітників «Інженерія поверхні. Комплексний підхід», Київ. – 2015. – 28-29 травня. – С. 14.
38. Смирнова Е.В. Методи обробки самофлюсівних покриттів / Е.В. Смирнова // Научно-техническое ведомство СПбГПУ. Наука и образование. – 2011. – №4. – С. 258-262
39. Гладкий С.І. Підвищення довговічності вузла штока – ущільнення штока двопоршневих бурових насосів

Додатки