

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

Зварювальний факультет

Кафедра інженерії поверхні

«На правах рукопису»
УДК 621.793.1

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ І.В. Смирнов

«__» _____ 20 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131 Прикладна механіка

**на тему: «Зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим
напиленням»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЗІ-71мп

Попіль Андрій Ігорович _____

Керівник:

Д.т.н., професор

Смирнов І.В. _____

Консультант з охорони праці:

Зав. каф. д.т.н. проф.

Левченко О.Г. _____

Рецензент: _____

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

Студент _____

Київ – 2018 року

Анотація

В магістерській дисертації розглядається питання технології та устаткування для нанесення іонно-плазмовим методом. Оксиди титанових покриттів, які мають захисні властивості. Розроблено технологію та комплекс обладнання для проведення технологічного процесу.

Головною метою проекту являється нанесення титан алюміній нітрид на черв'ячну фрезу. Для цього ми будемо використовувати вакуумну установку ВТТ-1500, основним джерелом розпилення якої є електро-дуговий розряд.

В магістерській дисертації наведено креслення загального виду установки ВТТ-1500, креслення складальні випаровувача, оснастки, приведені схеми управління установкою, вакуумна схема, плакат технологічного процесу, можливі матеріали.

Для вирішення поставленого запитання зроблено конструктивні зміни в установці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: черв'ячні фрези, зміцнення, зносостійкість, вакуумна установка ВТТ-1500, TiAlN.

ANNOTATION

The issue of technology and equipment for application by the ion-plasma method is considered in the master's dissertation. Titanium oxide oxides that have protective properties. The technology and equipment complex for the technological process are developed.

The main objective of the project is to apply titanium aluminum nitride to a worm mill. To do this, we will use a vacuum installation VTT-1500, the main source of spraying which is electric arc discharge.

In the master's dissertation the drawing of a general type of installation VTT-1500, drawing of assembly evaporator, the equipment, the schemes of control of the installation, the vacuum scheme, the poster of the technological process, possible materials are given.

To solve the question, constructive changes were made in the installation.

KEYWORDS: worm cutters, hardening, wear resistance, VTT-1500, TiAlN vacuum installation.

ЗМІСТ

| | |
|--|--|
| <u>Вступ</u> | 8 |
| 1 Конструктивно – Технологічний аналіз..... | 10 |
| 1.1 Аналіз умов роботи деталі | 10 |
| 1.2 Спрацювання черв'ячної фрези | 16 |
| 1.3 Матеріали з яких виготовляється деталь, аналіз механічних властивостей металу..... | 20 |
| 1.4 Аналіз можливих способів зміцнення черв'ячної фрези..... | 22 |
| 2 Конструкторський розділ | 35 |
| 2.1 Обладнання для вакуумного електродугового осадження | 35 |
| 2.2 Склад та принцип роботи | 40 |
| 2.3 Керування процесом напилення..... | 44 |
| 2.4 Модернізація установки ВТТ-1500..... | 47 |
| 2.5 Вибір вакуумного насосу..... | 47 |
| 3 Технологічний розділ..... | 50 |
| 3.1 Обґрунтування та вибір матеріалу для напилення покриття | 50 |
| 4 Розробка технологічного процесу | 63 |
| 5 Охорона праці..... | 67 |
| 6 Розробка стартап проекту..... | 75 |
| Висновки | 81 |
| Список використаної літератури | Ошибка! Закладка не определена. 2 |
| Додатки..... | О |
| шибка! Закладка не определена. | 85 |

Перелік умовних скорочень

σ_B - Межа короткочасної міцності

σ_T - Межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації)

δ_5 - Відносне подовження при розриві

ψ - Відносне звуження

α – Коефіцієнт лінійного розширення

A - струм

B - напруга

HRC- твердість

Ar – газ аргон

Вступ

У сучасному металообробному виробництві все в більшій мірі використовують ресурсозберігаючі технології, що дозволяють не тільки підвищити продуктивність обробки різанням, але й функціонувати з оптимальними економічними показниками. Станочне обладнання використовує інтенсивні режими обробки, що вимагають надійного ріжучого інструменту, що виключає простих та підвищених витрат дорогих інструментальних матеріалів.

Найбільш ефективний спосіб підвищення надійності металооброблювального інструмента - формування на його робочих поверхнях модифікованих шарів з високою зносостійкістю методами хіміко-термічної обробки, а також нанесення зносостійких покриттів методами хімічного та фізичного осадження [1]. Серед численних методів нанесення покриттів в останні роки досить перспективними вважаються методи плазово-вакуумного осадження. Для зміцнення металоріжучого інструменту найбільш ефективними є покриття, що утворюються карбідами та нітридами перехідних металів, а також оксидами алюмінію, кремнію, оксиду та нітриду бору. Використання вказаних методів нанесення та матеріалів покриття для підвищення ріжучих властивостей металооброблюваного інструменту дає помітні результати.

Інтенсивний розвиток методу випаровування та конденсації у вакуумі за останні роки обумовлено універсальністю технології, високою продуктивністю процесу нанесення покриттів, малою енергоємністю та рядом інших переваг порівняно з традиційними методами отримання покриттів різного функціонального призначення (гальванічним осадженням, плакуванням, плазовим напиленням, катодним розпиленням) [2]. Одна з основних переваг методу випаровування та конденсації у вакуумі - екологічно чиста технологія.

Електродуговий метод забезпечує отримання високоіонізованого пучка плазми на широкий спектр матеріалів.

Електродуговою плазмовий пучок сильноіонізований і складається переважно з іонізованих (а не нейтральних) атомних частинок.

Для ряду матеріалів ступінь іонізації плазми доходить до 100%. Висока ступінь іонізації дає можливість керувати характеристиками пучка плазми електричними та магнітними полями - прискорювати і гальмувати іони в пучку плазми, фокусувати пучок, транспортувати, керувати і сепарувати плазму тощо. Це дозволяє цілеспрямовано формувати структуру та властивості покриттів та матеріалів.

Мета проекту:

В ході виконання дипломного проекту буде модернізована вакуумна установка ВТТ - 1500.

Для досягнення поставленої цілі необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити призначення, пристрій і область застосування модульних черв'ячних фрез і причини їх зносу;
- проаналізувати особливості формування покриттів на металоріжучому інструменті електродуговим методом;
- аналізувати призначення, пристрій і принцип роботи вакуумної установки ВТТ - 1500, і представити пропозиції щодо вдосконалення вакуумної установки;
- розробити конструкцію технологічного оснащення для нанесення покриттів на модульні черв'ячні фрези;
- провести автоматизацію вузлів вакуумної системи;
- вивчити нормативні документи по охороні праці при роботі з установкою;
- розробка стартап-проекту.

1 КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

1.1 Аналіз умов роботи деталі

Сучасні механізми і машини важко уявити без зубчастих коліс. У той же час до цих пір ніхто не знає, ким і коли було винайдено зубчасте колесо. Застосування зубчастих коліс почалося в далекій давнині: вони виготовлялися грубої форми, замість зубів застосовувалися дерев'яні пальці, закріплені по периферії дерев'яного обода.

Зубчасті колеса є найпоширенішими деталями в сучасному машинобудуванні, особливо в автобудуванні, верстатобудуванні, важкому машинобудуванні. Процес їх виробництва досить складний, трудомісткий, мале виробництво і багато в чому залежить від експлуатаційних властивостей зуборізних інструментів, зокрема, черв'ячних зуборізних фрез.

Черв'ячні фрези застосовують для чорнової, напівчистої і чистої обробки прямозубих, косозубих і шевронних циліндричних коліс в діапазоні модулів 0,1 - 10 мм, а так само для нарізування зубів черв'ячних коліс з різними видами зачеплення [3]. Спосіб нарізування циліндричний зубчастих коліс черв'ячними фрезами має найбільшого поширення в машинобудуванні. Причиною цього є універсальність черв'ячного зубофрезерування (допускається нарізування прямозубих і косозубих коліс з різною кількістю зубів одним і тим же інструментом), висока точність і продуктивність процесу обробки. Загальне уявлення про призначення та спосіб роботи черв'ячних зуборізних фрез може бути отримано з наступного визначення, побудованого на основі ГОСТ 25751-83.

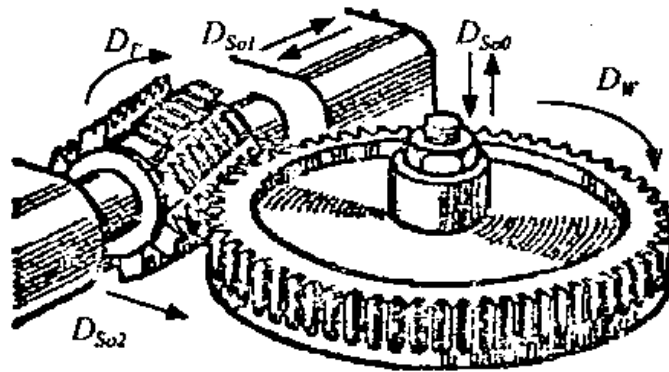
Фреза - лезовий інструмент для обробки з обертальним рухом різання інструменту без зміни радіуса траєкторії цього руху і хоча б з одним рухом подачі, напрямком якого не збігається з віссю обертання.

Неможливість зміни радіуса траєкторії головного руху різання лез Інструмент, згідно ГОСТ 25751-83, являється відмінною ознакою фрези.

Черв'ячна зуборізна фреза - фреза призначена для обробки профілів зубчастих деталей методом центроїдного огинання.

Метод центроїдального огинання - метод обробки зубчастих коліс, при якому центроїди інструменту і нарізається колеса є одне за одним без ковзання. Профіль нарізаються зубів виходить в процесі зубонарізування як огинає різних послідовних положень різальних крайок інструменту.

Черв'ячні фрези відносяться до групи обкатних багатолезових інструментів з конструктивним рухом обкату. У загальному випадку різучі кромки зубів черв'ячних зуборізних фрез розташовані на винтовій поверхні основного черв'яка [3]. Відповідно за малюнком 1, при роботі осі фрези нарізається колеса перехрещуються.



D_r – головний обертальний рух фрези; $D_{s_{o2}}$ – радіальна подача заготовки;
 D_w – обертальний рух заготовки; $D_{s_{o0}}$ – осьова подача заготовки.

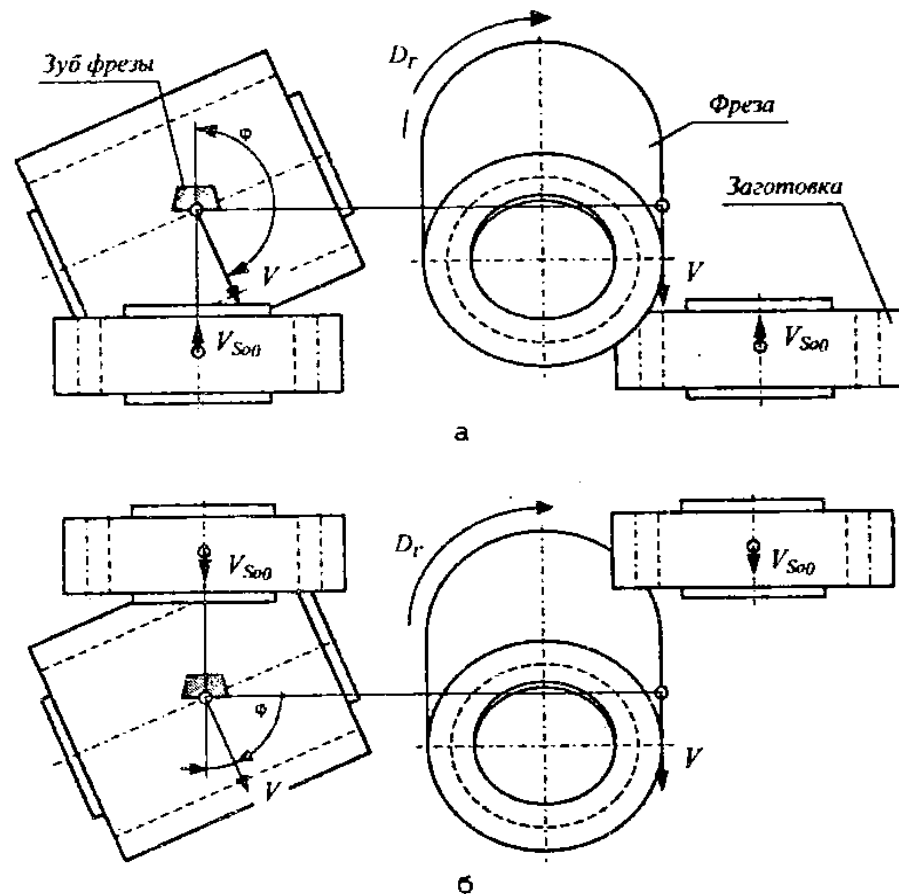
Рисунок 1.1 - Схема роботи червяної зуборізної фрези

При головному обертальному русі фрези D_r різучі кромки вступають в контакт із заготовкою в послідовно зміщених положеннях, що в поєднанні з обертальним рухом заготовки D_w утворює рух обкату в процесі обробки.

Крім головного руху різання D_r і обертального руху заготовки D_w в процесі обробки зубчастих деталей можуть брати участь від одного до трьох рухів подачі. Основним рухом подачі є відносне переміщення фрези і заготовки, вектор якого паралельний осі обертання заготовки (рух $D_{s_{o0}}$ осьова подача заготовки).

Залежно від напрямку подачі D_{s_0} розрізняють операції попутного або зустрічного зубофрезерування [3].

Зубофрезерування вважається зустрічним в разі, якщо кут ϕ між векторами головного руху зуба фрези V і поступального руху заготовки в результаті осьової подачі V_{s_0} перевищує 90° . В іншому випадку зубофрезерування вважається попутним. Схема до визначення виду фрезерування приведена на рисунок 1.2.



а) – зустрічна осьова подача заготовки; б) – попутная осьова подача заготовки

Рисунок 1.2 - Схема операції зубофрезерування

У разі якщо крім осьової подачі заготовки D_{s_0} використовується осьова подача фрези D_{s_1} , тобто по діагональній подачі. Радіальна D_{s_2} використовується для врізання інструменту в заготовку при обробці з

попутним подачею. Крім того радіальна подача може використовуватися при обробці черв'ячних коліс або коліс з вузьким зубчастим вінцем.

Для здійснення обробки черв'ячна фреза повинна надавати собою черв'як з поздовжніми гвинтовими прямими стружковими канавками для освіти передніх поверхонь зубів і затилованими задніми поверхнями зубів для освіти задніх кутів. Перетин передніх поверхонь стружкових канавок і затилованих задніх поверхонь утворюють ріжучі кромки. Схема освіти передніх і задніх поверхонь черв'ячних зуборізних фрез приведена на рисунку 1.3.

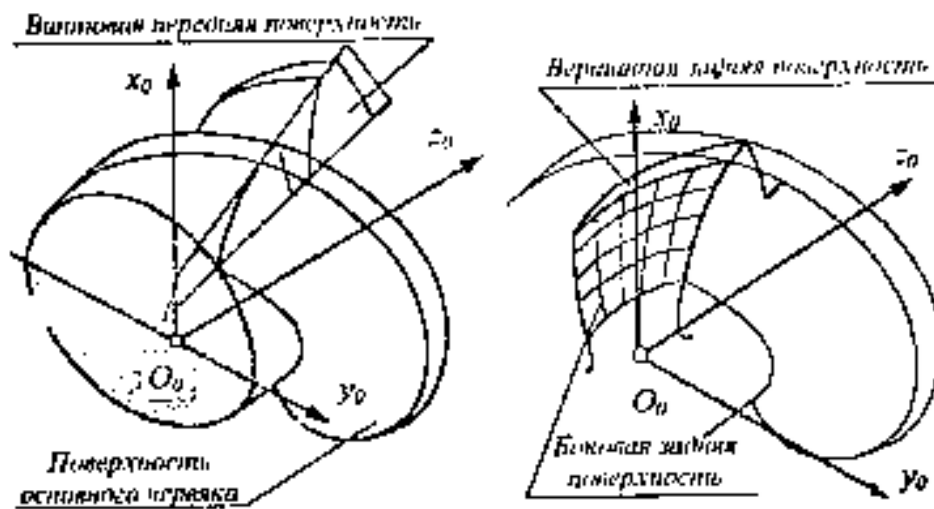
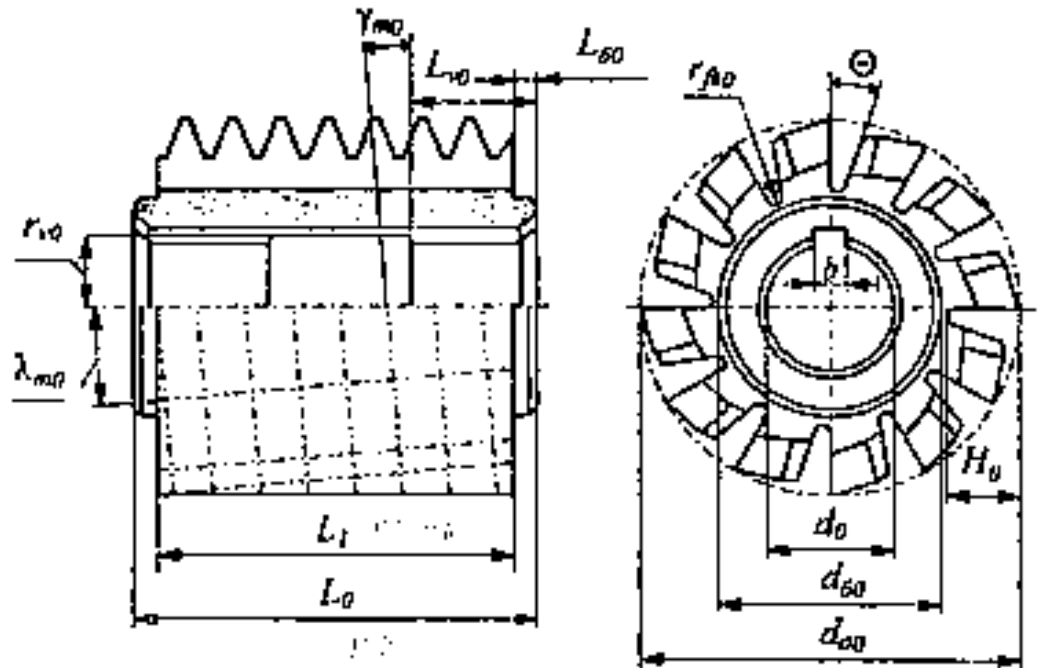


Рисунок 1.3 - Схема освіти передньої і задньої поверхні затилованих зубів черв'ячної зуборізної фрези

До основних конструкційних елементів черв'ячних фрез відносяться: діаметр і довжина фрези, діаметр посадочного отвори (для насадних фрез), число і форма зубів, напрямок стружкових канавок, геометричні параметри, розміри і форма ріжучих крайок. Основні конструктивні параметри черв'ячних зуборізних фрез наведені на рисунку 1.4.

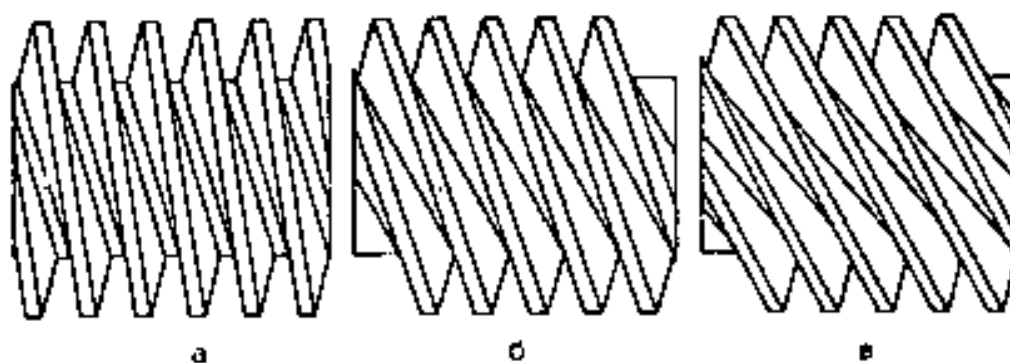


L_0 – загальна довжина фрези; L_1 – робоча довжина; L_{v0} – довжина посадочних поясків;
 $L_{\sigma 0}$ – довжина контрольних буртиків; d_{a0} – зовнішній діаметр фрези; $d_{\sigma 0}$ – діаметр
 контрольних буртиків; r_{v0} – радіус виточка посадочного отвору; H_0 – повна глибина
 стружкової канавки; θ – кут стружкової канавки; γ_{m0} – кут нахилу витків фрези;
 λ_{m0} – кут нахилу стружкової канавки; b – ширина шпоночного паза

Рисунок 1.4 - Основні конструктивні параметри черв'ячних зуборізних фрез

По конструкції черв'ячних зуборізні фрези бувають цільні, складові і збірні. У напрямку витків фрези поділяються на правозахідні та лівозахідні [4]. Рекомендується нарізування косозубних коліс виробляти черв'ячними фрезами, що мають однойменне напрямком витків фрези з лініями зубів виготовлених коліс, тобто Косозубі колеса з правим напрямком лінії зубів повинні нарізатися правозахідними фрезами, а колеса з лівим напрямком зубів - лівозахідними.

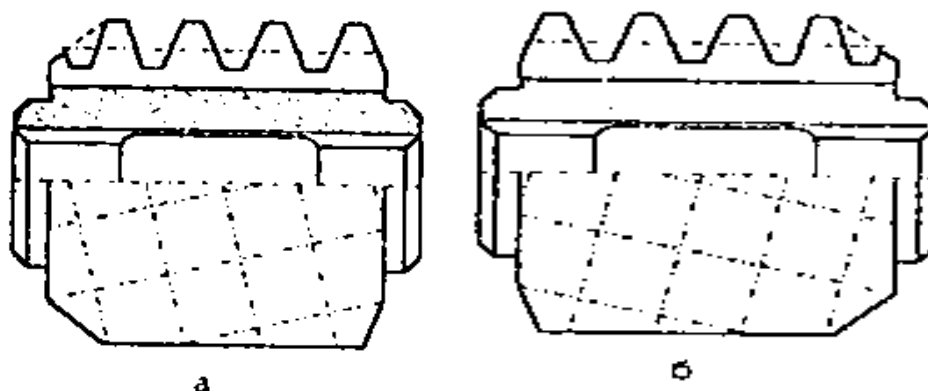
За кількістю заходів фрези поділяються на однозахідні і багатозахідні. Багатозахідні фрези, як правило використовуються в якості чорнових фрез і проектуються на основі багатозахідних черв'яків. На рисунку 1.5 наведені схеми двухзахідних і трьохзахідних правих чер'яків .



а)– однозахідні; б) – двухзахідні; в) – трьохзахідні

Рисунок 1.5 - Загальний вигляд прaviх чер'яків

Косозубі зубчасті колеса з кутом нахилу зубів більше 20° слід нарізати черв'ячними фрезами, забезпеченою конусною забірною частиною. Положення забірного конуса для прaviх і лівих фрез зображено на рисунку 1.6.



а)– прaviх; б) – лівих

Рисунок 1.6 - Положення забірного конуса черв'ячних фрез

Черв'ячні фрези для нарізування зубчастих коліс під шліфування або зубошліфування проектується на певну деталь. Конструктивні елементи профілів розраховуються для кожного числа зубів або вузького діапазону чисел зубів оброблюваних коліс [4].

Конструкції стандартних зуборізних фрез регламентуються ГОСТ 10331-80 (фрези модуля менше 1 мм), ГОСТ 18692-73 (збірні фрези для

обробки зубчастих коліс з зачепленням Новікова), ГОСТ 9324-80. Стандартні черв'ячні зуборізні фрези згідно ГОСТ 9324-80 виготовляються шести класів точності: ААА, АА, А, В, С і D. прецизійних фрезами класів ААА і АА нарізаються зубчасті колеса шостий і сьомий ступеня точності по ГОСТ 1643-81. Фрези загального призначення класу А - забезпечують обробку коліс восьмому ступені точності, класу В - дев'ятою, класу С - десятої і класу D - одинадцятій ступеня точності. ГОСТ 9324-80 встановлює три типи фрез: тип 1 - цільні фрези підвищеної точності класу ААА, тип 2 - цільні фрези загального призначення класів точності АА, А, В, С і D нормальної і збільшеної довжини, тип 3 - збірної конструкції класів точності АА, А, В, С і D нормальних і зменшених габаритних розмірів.

Форма профілю зубів фрези залежить від форми профілю зубів називувальних коліс - евольвентної, циклоїдальних та інших. Яка при проектуванні повинна задаватися профілем вихідного контуру зубчастої рейки.

1.2 Спрацювання черв'ячної фрези

В процесі різання фреза виходить з ладу в результаті затуплення (кінець періоду стійкості), поломки (повне руйнування ріжучої кромки або викришування частинок ріжучого матеріалу), розм'якшення (втрата твердості у сталі і приварювання - явища, майже не спостерігається у твердому сплаві) і, нарешті, в результаті все збільшується їх зношення. Характер зносу і його вплив на процес різання можуть бути різні.

При роботі твердосплавним інструментом причиною виходу різця з ладу є в першу чергу його знос. Задня і передня поверхні різця поступово стираються до повного затуплення. Ретельне вимірювання ширини площадки зносу свідчить про стрибкоподібне збільшення зношення (каскадне зношення), яке можна пояснити змінами, що відбуваються в характерній для твердих сплавів структурі.

При обробці матеріалів, що дають зливну стружку (сталь), різець зазвичай зношується по задній поверхні внаслідок тертя; зношення по передній поверхні внаслідок стирання відбувається під кратероподібним впливом дуже нагрітої, твердої, шорсткої стружки, причому за ріжучою кромкою утворюється коритоподібне поглиблення - так звана «лунка». При точінні глибина лунки збільшується, причому її край, який перебував спочатку на відстані - 1 мм за різальною кромкою, наближається до останньої по мірі різання. Оскільки одночасно зношується і задня поверхня, смужка між різальною кромкою і краєм лунки (так звана «полка перед лункою») стає кут загострення зменшується, що призводить до більш або менш сильному викришування ріжучої кромки, і різання стає неможливим.

Процес і причини зносу металевого ріжучого матеріалу при обробці різанням дуже складні. У твердого сплаву вони пов'язані з властивостями оброблюваного матеріалу і з характерними властивостями структури самого ріжучого матеріалу. У відповідності з описом стружкоутворення розрізняють матеріали, що дають коротку стружку надлому (чавун, кольорові метали, кераміка, пластмаси тощо), і матеріали, що дають зливну стружку (сталь).

Загальним недоліком черв'ячних фрез є одночасна участь в різанні трьох різальних крайок зубів фрези. В результаті цього створюються умови, що викликають появу інтенсивного локального зносу по кутах зубів, що лімітує стійкість інструменту. На рисунок 1.7 представлений приклад характерних зносів зубів черв'ячних модульних фрез.

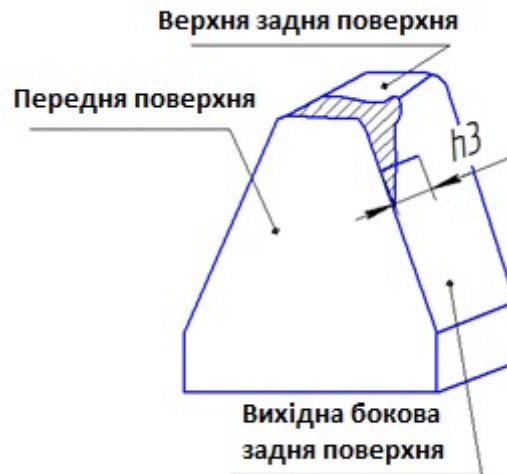


Рисунок 1.7 - Характерний знос зубів черв'ячних модульних фрез

Перші сліди зносу з'являються на задній поверхні зубів в місці переходу від вершинних кромки до бічних у вигляді затертості h_3 (лінійний знос) [5]. Причому частіше у вигляді штрихів зносу, є мікровідколи леза (ріжучі кромки на переході). Знос по передній поверхні зуба у вигляді лунки з'являється пізніше. Зазвичай знос по задній поверхні h_3 є лімітуючим зносом. При досягненні h_3 допустимих величин фрезу переточують по передній поверхні зубів до зникнення слідів зносу h_3 по задній поверхні.

Особливістю зносу черв'ячних фрез є нерівномірність зносу зубів, що обумовлено нерівномірністю їх навантаження. Так, наприклад, при зустрічному фрезеруванні найбільш зношені зуби (зрізають товсту і довгу стружку одночасно вершинами і бічними крайками) розташовуються на західній гілці фрези [5]. Графік зносу h_3 зубів західній гілці на рисунку 1.8 отримано при нарізанні прямозубих евольвентних коліс модуля $t = 5,5$ мм з числом зубів $z = 24$ на зустрічній подачі $S_{зуст} = 1,6$ мм / об стандартної черв'ячної фрезою з десятьма стружковими канавками [5]. Для всіх черв'ячних фрез характер розподілення зносу h_3 між зубами послідовно вступають в різання принципово однаковий. Перші вступають в різання зуби, ріжуть вершинною і перехідною до бічної кромці зуба ділянками зуба. Стружка товста і коротка. Знос h_3 невеликий.

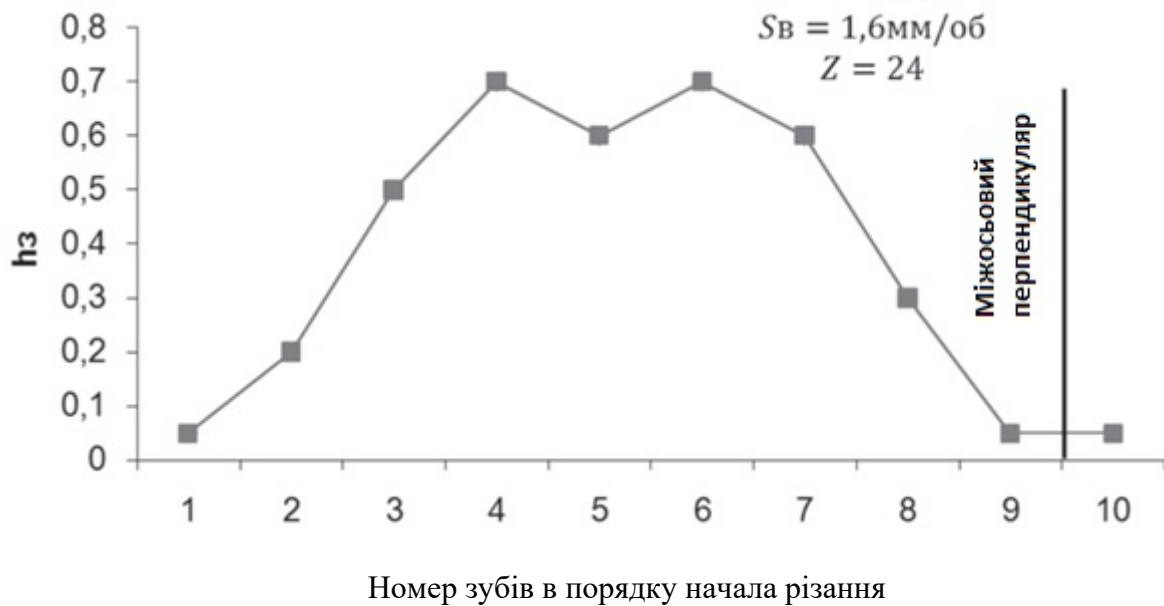


Рисунок 1.8 - Знос зубів на західній гілці черв'ячної фрези

У міру входу в роботу зубів даного заходу їх знос h_3 стає більше. Пастет довжина проникнення ріжучого інструменту, одночасно ріжуть вершина та бічні кромки, стружка в поперечному перерізі стає Г-образної або П-образної, що обумовлює обмежені умови різання, збільшує силу різання [6] і тепловиділення. Останнє підвищує температуру різання і знос зуба, який досягає максимального значення. Наступні вступають в різання зуби витка ріжуть стружку меншої товщини і довжини, обмежені умови різання замінюються вільним різанням (ріжуть тільки бічні кромки зуба) і знос зубів h_3 зменшується. Таким чином, знос зубів витка черв'ячної фрези нерівномірний і знос фрези лімітується декількома найбільш зношеними зубами фрези, а переточування черв'ячної фрези здійснюється по всіх зубах (напрохід з технологічних міркувань) в тому числі малозношених або взагалі не мають зносу.

Розподіл напружень в зоні різання (моделювання методом кінцевих елементів) на рисунку 1.9 показує, що напруги на кромці лека розподіляються нерівномірно і можуть перевищувати межу витривалості матеріалу [6].

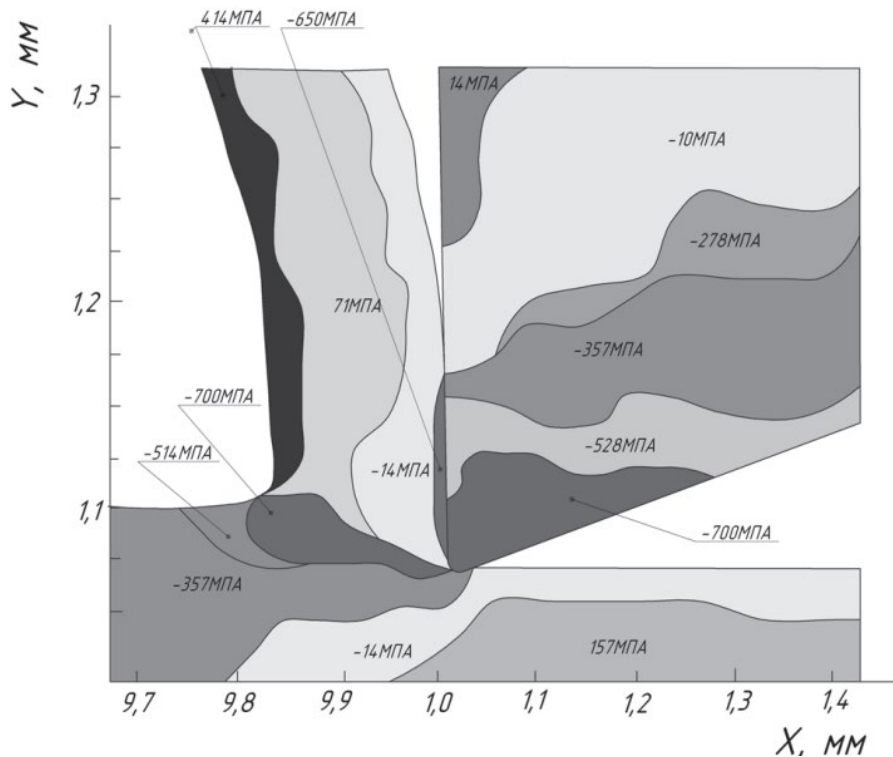


Рисунок 1.9 - Схема розташування напружень на вершині зуба фрези

Шліфувальні тріщини які виникають як при шліфуванні профілю зуба, так і при переточуванні. Тріщини (у вигляді сітки тріщин на поверхні, що шліфується) виникають через великий тиск на шліфуючу поверхню і проявляються в зміні кольору поверхні, що шліфується (відпалів, кольори мінливості).

1.3 Матеріали з яких виготовляється деталь, аналіз механічних властивостей металу

Відповідно до технічних вимог черв'ячні фрези повинні виготовлятися зі швидкорізальної сталі (ГОСТ 19265-73) з твердістю робочої частини 63-66 HRC.

Сталь Р6М5 швидкорізальна сталь

Призначення : Сталь Р6М5 застосовується для виготовлення всіх видів різального інструменту, що використовується при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей, різьбонарізного інструменту, інструменту, що працює з ударними навантаженнями. Сталь має підвищену схильність до

зневуглецювання. Область застосування сталі включає обробку твердих металів, що обумовлено високою міцністю сплаву. Матеріал дозволяє максимально підвищити швидкість роботи обладнання для різання, шліфування, свердління в порівнянні з іншими видами інструментальних складів. Особливою перевагою є довговічність різьбонарізного інструменту, виготовленого зі сталі Р6М5, при роботі з динамічних і вібраційних впливом.

Основні характеристики цієї сталі наведені нижче в (таблицях 1.1,1.2,1.3,1.4)[7]:

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі Р6М5 (ГОСТ 19265 - 73)

| C | Si | Mn | Ni | S | P | Cr | Mo | W | V | Co | Cu |
|------------|-----------|-----------|--------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------|
| 0.82 - 0.9 | 0.2 - 0.5 | 0.2 - 0.5 | до 0.6 | до 0.025 | до 0.03 | 3.8 - 4.4 | 4.8 - 5.3 | 5.5 - 6.5 | 1.7 - 2.1 | до 0.5 | до 0.25 |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі Р6М5 (ГОСТ 19265-73)

| Сортамент | Размер | Напр. | σ_B | σ_T | δ_5 | ψ | KCU | Термообр. |
|---|--------|-------|------------|------------|------------|--------|-------------------------------|--------------------|
| - | мм | - | МПа | МПа | % | % | кДж / м ² | - |
| | | | 840 | 510 | 8 | 10 | 190 | Состояние поставки |
| Твердость Р6М5 после отжига , ГОСТ 19265-73 | | | | | | | HV 10 ⁻¹ = 255 МПа | |

Таблиця 1.3 – Фізичні властивості сталі Р6М5 (ГОСТ 19265-73)

| T | $E \cdot 10^{-5}$ | $\alpha \cdot 10^6$ | λ | ρ | C | R 10^9 |
|------|-------------------|---------------------|-------------|-------------------|--------------|----------|
| Град | МПа | 1/Град | Вт/(м·град) | кг/м ³ | Дж/(кг·град) | Ом·м |
| 20 | 2.28 | | | 8800 | | 419 |
| 100 | 2.23 | | 26 | | | 472 |
| 200 | 2.19 | | 27 | | | 544 |
| 300 | 2.1 | | 28 | | | 627 |
| 400 | 2.01 | | 29 | | | 718 |
| 500 | 1.92 | | 28 | | | 815 |
| 600 | 1.81 | | 27 | | | 922 |
| 700 | | | 27 | | | 1037 |
| 800 | | | | | | 1152 |
| 900 | | | | | | 1173 |
| T | $E \cdot 10^{-5}$ | $\alpha \cdot 10^6$ | λ | ρ | C | R 10^9 |

Таблиця 1.4 – Критичні точки сталі Р6М5 (ГОСТ 19265-73)

| |
|---------------------------------|
| $A_{c1} = 815$, $A_{r1} = 730$ |
|---------------------------------|

де: σ_B – границя міцності, МПа;

σ_T – границя текучості, МПа;

α – відносне видовження при ростягу, %;

ψ – відносне звуження, %;

КСУ – ударнав'язкість, кДж/м²;

Черв'ячно - модульні зуборізні фрези традиційної конструкції, виготовлені з швидкорізальної сталі, як правило, використовуються на операціях зубофрезерування зі швидкостями різання до 35 м / хв і осьової подачею заготовки, які не перевищують 1.5-2.5 мм / об.

Черв'ячні фрези працюють на спеціальні зубофрезерних верстатах моделей 5К301, 5К320, 5К32 і інших, а також на важких верстатах моделей 5342, 5345, 5364.

1.4 Аналіз можливих способів зміцнення різців черв'ячної фрези

Для зміцнення та надання ріжучих властивостей фрези можливо застосувати такі способи :

- заточка фрези
- нанесення покриття на фрезу

Заточка фрез - заключна операція для отримання заданих геометричних параметрів, а також для відновлення ріжучих властивостей, втрачених в результаті зносу зубів[8].

Правильно виконана заточка збільшує стійкість фрези, а отже, знижує витрата різального інструменту. При експлуатації не слід доводити фрези до величин зносу, що перевищують встановлені оптимальні значення, прийняті за критерій затуплення. Тому необхідно стежити за станом різальних крайок і проводити своєчасну заточку фрез, не допускаючи надмірно великого зносу або поломки зубів.

Заточка фрез здійснюється на універсально-заточувальних верстатах наприклад, моделі ЗА64 або на спеціальних заточувальних верстатах. Для забезпечення правильної заточки фрез, дотримання встановлених норм

допускаються биттів, забезпечення встановленої якості поверхонь і ріжучих кромок.

Методи отримання плівок підрозділяються на фізичні (PVD - Physical Vapor Deposition), хімічні та проміжні газофазного хімічні методи (CVD - Chemical Vapor Deposition). Всі методи нанесення плівок характеризуються такими параметрами як швидкість отримання покриттів і діапазон досягаються товщин. Для PVD і CVD ці параметри, відповідно, зазвичай знаходяться в межах 1 -1000 мкм / год і 0,01- 10 (100) мкм. Для хімічних методів вони становлять 100 -1000 мкм / год і 0,1 - 1000 мкм; для вибухових (детонаційних) і плазмових методів - до 10- 100 мм / год і 0,1- 10 мм, відповідно.

Процес отримання плівкових покриттів супроводжується рядом специфічних явищ. Зростання плівки відбувається в два етапи: утворення зародка на поверхні підкладки і зростання зародка. При взаємодії двох атомів один з одним між ними може виникнути хімічний зв'язок. В результаті атоми довше залишаються на поверхні і встигають приєднати наступний атом і т.д. Так утворюються скупчення адсорбованих атомів, більш тривалий час пов'язаних з підкладкою і мають тенденцію до подальшого зростання, який відбувається за рахунок приєднання мігруючих по поверхні атомів, що падають атомів і дрібніших кластерів. Таким чином, на поверхні формується мережа об'єднаних кластерів, потім відбувається їх об'єднання, і утворюється суцільна плівка. При цьому залежно від швидкості осадження, природи підкладки і типу осаджаемого матеріалу можливі три типи росту плівки:

- Острівцевий зростання;
- Пошарове зростання;
- Пошарово-острівцевий, або змішаний зростання.

Тип зростання визначається взаємодією атомів плівки з атомами підкладки і між собою. Острівцевий зростання відбувається, якщо обложені

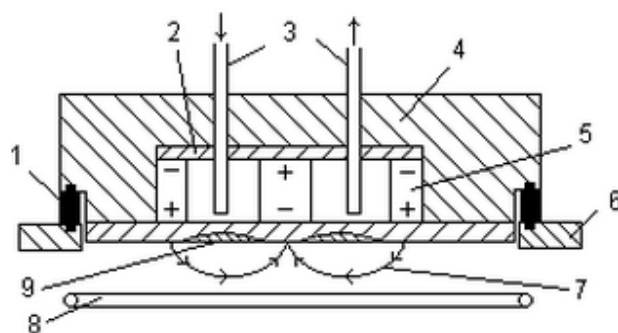
атоми напиляемой плівки сильніше взаємодіють між собою, ніж з атомами підкладки. Пошаровий зростання відбувається при утворенні великих за площею двовимірних зародків на поверхні підкладки внаслідок того, що атоми напилюваного матеріалу сильніше зв'язуються з атомами підкладки. Пошарово-острівцевий зростання має місце, коли острівці починають рости після того, як сформується плівка товщиною в кілька атомних моношарів.

На сьогоднішній день існує велика кількість способів отримання покриття у вакуумі, які відрізняються між собою джерелом випаровування, методом керування процесом. Одними них є:

- Магнетронне розпилення
- Іонно-променеве розпилення
- Іонно-плазмове напилення

Магнетронне розпилення

Принципова схема установки та характеристики методу. Схема магнетронної розпорощувальної системи наведена на рисунку 1.10.



1 - ізолятор; 2 - магнітопровід; 3 - система водоохолодження; 4 - корпус катодного вузла; 5 - постійний магніт; 6 - стінка вакуумної камери; 7 - силові лінії магнітного поля; 8 - кільцевої водоохолоджуваний анод; 9 - зона ерозії розпорощується катода.

Рисунок 1.10 - Схема магнетронної системи іонного розпилення з плоским катодом

Основними елементами є плоский катод, виготовлений з напилюваного матеріалу, анод, встановлюваний по периметру катода, магнітна система, зазвичай на основі постійних магнітів, і система водоохлодження. Силкові лінії магнітного поля, замикаючись між полюсами, перетинаються з лініями електричного поля. Принцип дії установки заснований на гальмуванні електронів в схрещених електричних і магнітних полях.

Відомо, що на заряд, що рухається в електромагнітному полі, діє сила Лоренца, напрямком якої, за правилом додавання сил, залежить від напрямку її складових. При цьому, частина сили Лоренца, зумовлена дією магнітного поля, не здійснює роботи, а лише викривляє траєкторію руху частинки, змушуючи її рухатися по колу в площині, перпендикулярній V і B . Таким чином, в магнетронних пристроях при одночасній дії електричних і магнітних полів змінюється траєкторія руху електрона. Електрони, емітовані катодом, і утворюються в результаті іонізації, під дією замкнутого магнітного поля локалізуються безпосередньо над поверхнею розпорошується матеріалу. Вони як би потрапляють у пастку, утворену, з одного боку, дією магнітного поля, що змушує рухатися електрони по циклоїдальні траєкторії поблизу поверхні, з іншого - відштовхуванням їх електричним полем катода в напрямку до анода. Вірогідність і кількість зіткнення електронів з молекулами аргону і їх іонізація різко зростають. Через неоднорідність дії електричних і магнітних полів в прикатодній зоні інтенсивність іонізації в різних ділянках різна. Максимальне значення спостерігається в області, де лінії індукції магнітного поля перпендикулярні вектору напруженості електричного поля, мінімальне де їх напрямком збігається.

Локалізація плазми в прикатодному просторі дозволила отримати значно більшу щільність іонного струму при менших робочих тисках, і відповідно, забезпечити високі швидкості розпилення.

Магнетронні пристрої відносяться до низьковольтних систем іонного розпилення. Напруга джерела живлення постійного струму не перевищує

1000-1500 В. При подачі негативного потенціалу на катод, між електродами збуджується аномальний тліючий розряд в середовищі аргону. Наявність магнітної пастки забезпечує при одних і тих же тисках газу виникнення розряду при більш низьких напругах в порівнянні з діодними системами. Напруга розряду складає 300-700 В.

Магнетрон може працювати в діапазонах тиску робочого газу від 10^{-2} до 1 Па і вище. Тиск газу і індукція магнітного поля надають значного впливу на характеристики розряду. Пониження тиску зумовлює підвищення робочих напруг. У той же час для кожної магнетронній системи існує деякий інтервал значень, зазвичай 10^{-1} Па, в якому коливання тиску не робить істотного впливу на зміну параметрів розряду. Вплив магнітного поля аналогічно дії газового середовища. Тому низькі робочі тиску в магнетронах забезпечують збільшення індукції магнітного поля, величина якої у поверхні катода становить 0,03-0,1 Тл. Підвищення питомої потужності сприяє стабілізації розряду в області низьких тисків [9].

Переваги методу [10]:

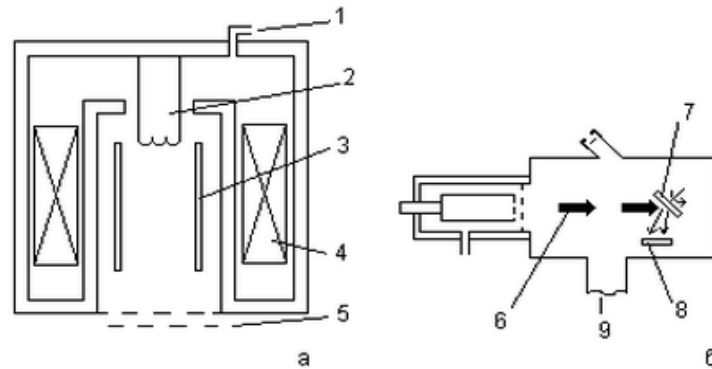
- 10-висока швидкість розпилення при низьких робочих напругах (600-800 В) і при невеликих тисках робочого газу
- відсутність перегріву підкладки
- мала ступінь забруднення плівок
- можливість одержання рівномірних по товщині плівок на більшій площі підкладок

Іонно-променеве розпилення

Технологія іонно-променевого розпилення полягає в бомбардуванні мішені заданого складу пучком іонів з енергією до 5000 еВ з наступним осадженням розпорошеного матеріалу на підкладку рисунок 1.2. При цьому стехіометрія формованого покриття ідентична мішені.

Низьковольтний розряд (40-80 В) збуджується в середовищі аргону. Наявність термоелектронного катода забезпечує стабільність розряду в

широкому інтервалі тисків від 100 до 10^{-1} Па. Магнітне поле, створюване в області циліндричного анода, змінює траєкторію електронів, збільшуючи ймовірність зіткнення з молекулами газу



1 - напуск робочого газу; 2 - термоелектронний катод; 3 - анод; 4 - магнітна система; 5 - прискорює електрод; 6 - пучок іонів; 7 - розпорошується матеріал; 8 - підложкодержатель; 9 - приєднання до вакуумної системи; а - іонна гармата, б - схема напilenня.

Рисунок 1.11 - Схема іонно-променевого розпилення

Система фокусування і прискорення дозволяє отримувати практично моноенергетическіе пучки іонів з енергією від 100 до 3000 еВ і щільністю струму від 0,1 до 20 мА / см². Є відомості про отримання пучків аргону з щільністю струму до 26 мА / см² при прискорюючій напрузі 1000 В. Отримання пучків низькоенергетичних іонів з високою щільністю струму обмежена. Для нейтралізації потоку іонів, з метою розпорошення діелектричних матеріалів, в пушку встановлюють джерело низькоенергетичних електронів [11].

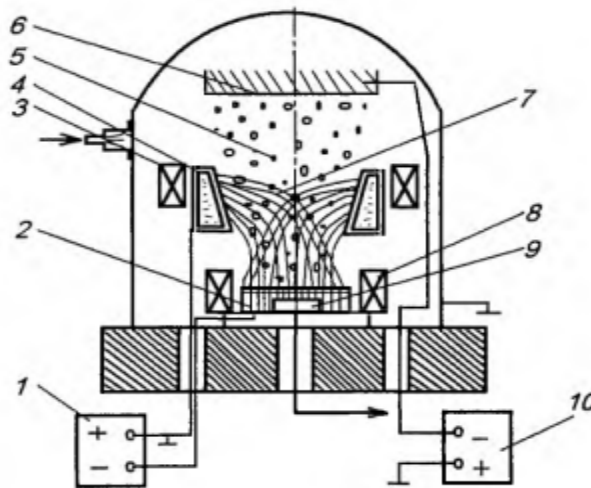
Ця сучасна технологія призначена для нанесення прецизійних нанослойних покриттів з високою щільністю і низькою шорсткістю. Плівки, одержувані методом іонно-променевого розпилення, мають абсолютну величину шорсткості $R_{pv} = 4,0$ nm з середньоквадратичним відхиленням $R_{ms} = 0,19$ nm.

Відмінними перевагами технології є отримання покриттів без ефекту дрейфу в часі при впливі атмосфери і різних кліматичних умов, що є одним з найважливіших вимог до сучасних оптичним і функціональним покриттям.

Додатковими перевагами технології іонно-променевого розпилення є можливість проведення реактивних і нереактивні процесів в одній камері без переналагодження (наприклад, з мішені Si можна одержувати покриття Si, SiO₂, Si₃N₄), можливість нанесення покриттів на термочутливі підкладки (пластики і т. д.), так як процес нанесення характеризується низькими температурами до 90 °С. А також перенесення нанокompозитних матеріалів мішені на підкладку без зміни їх властивостей.

Іонно-плазмове напилення

Іонно-плазмового напилення у вакуумі - це найбільш поширений процес зміцнення ріжучого інструменту і технологічного оснащення. Даний метод дозволяє наносити тонкоплівкові зміцнюючі покриття (1-10 мкм) на основі карбідів, нітридів, карбонітридів, окислів, що володіють високою твердістю, теплостійкістю, зносостійкістю.



1-джерело електроживлення; 2-Розпилюваний матеріал; 3- електромагнітні торцеві прискорювачі; 4-водоохолоджуючий анод; 5-потік напилюваних часток; 6-виріб; 7-дуговий розряд; 8-стабілізаційна електромагнітна котушка; 9-канал водоохолодження; 10-високовольтний випрямляч.

Рисунок 1.12 - Схема вакуумного напилення покриття розпиленням катода дугою низького тиску.

При цьому дані покриття дозволяють знизити силу тертя при різанні сталей на 20-30%, зменшити коефіцієнт усадки стружки і зусилля різання на 15-20%, знизити температуру при різанні і значно від 2 до 6 разів підвищити стійкість інструменту з одночасним збільшенням продуктивності.

При іонно-плазмовому напиленні з використанням процесу конденсації з іонним бомбардуванням (КІБ), заснованому на генерації речовини катодною плямою вакуумної дуги з одночасною подачею в вакуумний простір реактивних газів (азоту, ацетилену, метану та ін), процес формування покриття протікає у дві стадії. На першому етапі додеталі прикладається напруга порядку 1,0-1,5 кВ при тиску у вакуумній камері порядку 10-3 Па (10-5 мм рт.Ст.). В результаті іонного бомбардування відбувається очищення, активація та розігрів поверхні деталей.. На другому етапі в камеру надходить реактивний газ, напруга на інструменті знижується до 100-200 В і відбувається власне процес осадження покриття за рахунок проходження плазмохімічних реакцій.

Товщина покриттів, що наносяться методом іонно-плазмового напилення, залежить від розташування інструмента щодо випарника у вакуумній камері. На торцевій і бічній поверхнях вона може відрізнитися до п'яти разів (це ж відноситься і до задніх, закритих поверхонь). Товщина покриття також залежить від різної товщини виробу і умов його кріплення до оснащення, що пов'язано з різною температурою нагріву різних зон в процесі іонно-плазмового напилення. При цьому товщина покриття може відрізнитися на одному і тому ж виробі на 50%. Встановлено, що коливання товщини іонно-плазмових покриттів нанесених на одному і тому ж режимі від 0,5 мкм до 2,0 мкм може змінювати експлуатаційну стійкість інструменту до 70%. Такий розкид стійкості інструменту з різною товщиною покриття обумовлений коливаннями структури і фазового складу покриття, що зв'язується з поглинанням кисню в процесі осадження та утворенням TiO_2 .

Цьому може також активно сприяти і взаємодія матеріалу покриття з киснем при вивантаженні з камери неохолодженого інструменту, а також процентний вміст мікрокраплинної фази, що представляє собою легко окислюється. З метою забезпечення рівномірності товщини покриття інструмент у вакуумній камері розташовується так, щоб покриваються поверхні знаходилися перпендикулярно до випарника. В одній завантаженні при напиленні інструмент повинен бути однотипним як по конструкції, так і за матеріалом. При обробці виробів типу тіл обертання, а також мають складну конфігурацію, застосовуються пристосування і пристрої, що забезпечують обертання або коливальний рух. З метою зменшення окисляемості покриття потрібне збільшення часу остигання інструменту (до $100-200\text{ C}^0$) у вакуумній камері.

При вивченні впливу температури виробів на формування покриття було відмічено, що при температурах виробів ≥ 400 на поверхні зразків відбувається гетерогенна реакція утворення текстурированого покриття, активована іонним бомбардуванням, а при температурах ≤ 250 - конденсат складається з двох шарів нижнього товщиною 1 мкм і верхнього нетекстурованих пористого шару у вигляді порошку, який легко видаляється з поверхні. Це пов'язується із зміною умов протікання плазмохімічних реакцій, що призводить до утворення не в результаті гетерогенної реакції на поверхні, а в газовому середовищі, і подальшого осадження його на поверхні зразка.

При іонно-плазмовому напиленні шорсткість торцевої поверхні по параметру R_a має більшу величину, ніж шорсткість бічних поверхонь. Це пов'язано з наявністю збільшеної кількості мікрокраплинної фази на торцевій поверхні. Зміна шорсткості покриття від вихідної шорсткості при вихідних значеннях $R_a \leq 0,32$ мкм шорсткість збільшується від 2 до 6 разів, а при $R_a \geq 0,32$ мкм шорсткість покриття змінюється незначно. Зміна вихідної шорсткості, в основному, визначається тривалістю процесу іонного очищення. На шорсткість покриття найбільш сильно впливають вихідна

шорсткість виробу, струм дуги, тиск газу, матеріал катода і товщина покриття. Із збільшенням струму дуги шорсткість зростає в результаті збільшення мікрокраплинної фази в покритті. На шорсткість покриття практично не впливає температура підкладки і прискорює напруга в процесі осадження покриття. При усуненні мікрокраплинної фази шорсткість покриття визначається вихідною шорсткістю підкладки і практично не залежить від режимів напилення .

Метод вакуумно-дугового випаровування заснований на ерозії матеріалу катода з катодної плями і дозволяє отримувати захисно-декоративні, корозійно-стійкі, зносостійкі і жаростійкі покриття, у тому числі наноструктурні зносостійкі покриття на інструмент і жаростійкі покриття на лопатки авіаційних турбін. Відносна простота і дешевизна методу вакуумно-дугового випаровування стимулювали перенесення цієї технології на обробку деталей більш великого розміру (наприклад, листові матеріали такі як: скло, пластик, метал). Вакуумно-дугові випарники використовуються як джерела геттерного матеріалу в високовакуумних електророзрядних насосах. Перспективним є застосування вакуумно-дугового розряду для синтезу нанота мікропорошків.

В даний час накопичені великі знання у фізиці горіння вакуумної дуги, проте, до останнього часу, залишаються неясними багато явищ в цьому розряді. Для цього виду дуги характерно незвичайна поведінка стовпа розряду при взаємодії з магнітним полем, не пояснене до цих пір. Також немає ясного розуміння емісійних і ерозійних процесів на катоді. Все це не служило перешкодою для використання цього розряду в іонно-плазмової технології. Було накопичено багато емпіричних знань про поведінку дуги в умовах вакууму. Розробники навчилися віртуозно керувати рухом катодного плями по поверхні катода, регулювати склад продуктів ерозії катода і управляти процесами конденсації покриттів на поверхні оброблюваних деталей.

Успіхи у вивченні фізики вакуумно-дугового розряду і технології вакуумно-дугового випаровування відкривають перед нами величезні перспективи в розвитку технології машинобудування, мікроелектроніки та нанотехнології.

Вакуумний електродугової спосіб осадження покриттів у порівнянні з іншими дозволяє формувати покриття з будь-яких, в тому числі тугоплавких металів і сплавів; забезпечує можливість управляти плазмовим потоком; гарантує високу чистоту процесу, високий коефіцієнт використання осаждасямого матеріалу і здійснення плазмохімічних реакцій; не вимагає високої температури основи. При вакуумному електродугової способі осадження покриттів стадія генерації забезпечується за рахунок ерозії електродів електричною дугою. Встановлено, що процес супроводжується інтенсивною іонізацією [12].

За способом генерації вакуумні дуги можна класифікувати на дуги катодного і анодного форми [13]. На охолоджуваних катоді і аноді з розвиненою поверхнею має місце катодний форма дуги, що розвивається в парах матеріалу електрода-катода. Розряд на аноді дифузионно розподілений, і останній не еродують. Фазовий склад продуктів плазмової генерації визначається в основному матеріалом катода. Склад містить мікрокрапельні, парову і іонізовану фази. Кількість мікрокраплинної фази залежить від струму дуги, відстані від площини катода до поверхні конденсації, тиску газу у вакуумній камері і матеріалу катода.

При збільшенні струму дуги відбувається деяке зменшення багатозарядних іонів при відповідному зростанні частки однозарядних. Зміна тиску не робить істотного впливу на їх процентний вміст. Для катодного форми генерації в мікропятнах може встановлюватися мінімальна величина струму, нижче якої розряд стійко не горить. По таблиці 1.5 критична величина струму залежить від теплофізичних характеристик матеріалу катода і параметрів електричного кола живлення.

Таблиця 1.5 - Теплофізичні характеристики матеріалу катода і параметри електричного кола живлення.

| Матеріал катода | Критичний струм, А |
|-----------------|--------------------|
| Алюміній | 60 |
| Титан | 80 |
| Медь | 80 |
| Нікель | 90 |

При необхідності реалізації менших швидкостей генерації, допускаються критичною величиною струму, може використовуватися імпульсний катодний режим, при якому величина імпульсного струму значно перевищує критичну, однак величини усереднених за часом струму, електричної потужності і швидкості ерозії можуть бути як завгодно малими і регулюються в широких межах зміною частоти проходження імпульсів.

Анодна форма вакуумної дуги реалізується в електродній системі певної геометрії, при якій анод розміщується всередині порожнього катода, виконаного з матеріалу з високими емісійними властивостями.

З анода здійснюється ефективна генерація пари його матеріалу, причому інтенсивність цього процесу на один-два порядки перевершує інтенсивність ерозії катода.

Крім зазначених способів генерації отримав розвиток новий, в основі якого - вакуумна дуга з розподіленим розрядом і витрачаються гарячим катодом [12]. Така форма вакуумної дуги реалізується, коли на поверхні катода встановлюється температура понад 103 К необхідних для підтримки як генерації речовини, так і емісії електронів.

Для плазмових прискорювачів на основі вакуумних дуг з холодним катодом однією з основних є проблема стабілізації мікроплат на поверхні катода. Стабілізація може здійснюватися екрануванням. Для цього екран з товщиною стінки кілька міліметрів встановлюється з зазором 1 ... 2 мм на

рівні торцевої поверхні катода, що запобігає переміщенню плям на його бічну поверхню і забезпечує рівномірну ерозію торцевої. Більш ефективна стабілізація за допомогою зовнішнього магнітного поля.

При використанні стрижневого катода стабілізація розряду здійснюється по осі симетрії в тих місцях, де силові лінії магнітного поля нормальні до його робочої поверхні. Якщо катод у формі кільця і поміщений між полюсами електромагніту, плями стабілізується там, де індукція зовнішнього магнітного поля має, лише радіальний компонент.

Розглянуті методи генерації і прискорення плазмових потоків забезпечують високу енергію і ступінь іонізації, дозволяють ефективно управляти процесом. Це створює технологічні переваги електродугового способу формування покриттів, але вимагає вивчення основних питань технології отримання захисних покриттів.

Отже виходячи з умов яких нам треба досягти при напилення є більш підходящим способом являється йнно-плазмовий метод , з холодним катодом. Цей спосіб при напиленні не нагріває деталь до високих температур, що є важливою властивістю, має достатню продуктивність, та процес є більш керований на відміну від інших.

2 Конструкторський розділ

2.1 Обладнання для вакуумного електродугового осадження

Для нанесення покриття будемо використовувати установку типу ВТТ-1500. загальний вид якої зображено на кресленні 1. На рисунку 3.1 зображено робоче місце оператора. Загальний вид та габаритні розміри на рисунку 3.2

Вакуумна установка ВТТ -1500 призначена для нанесення захисно-декоративних покриттів на:

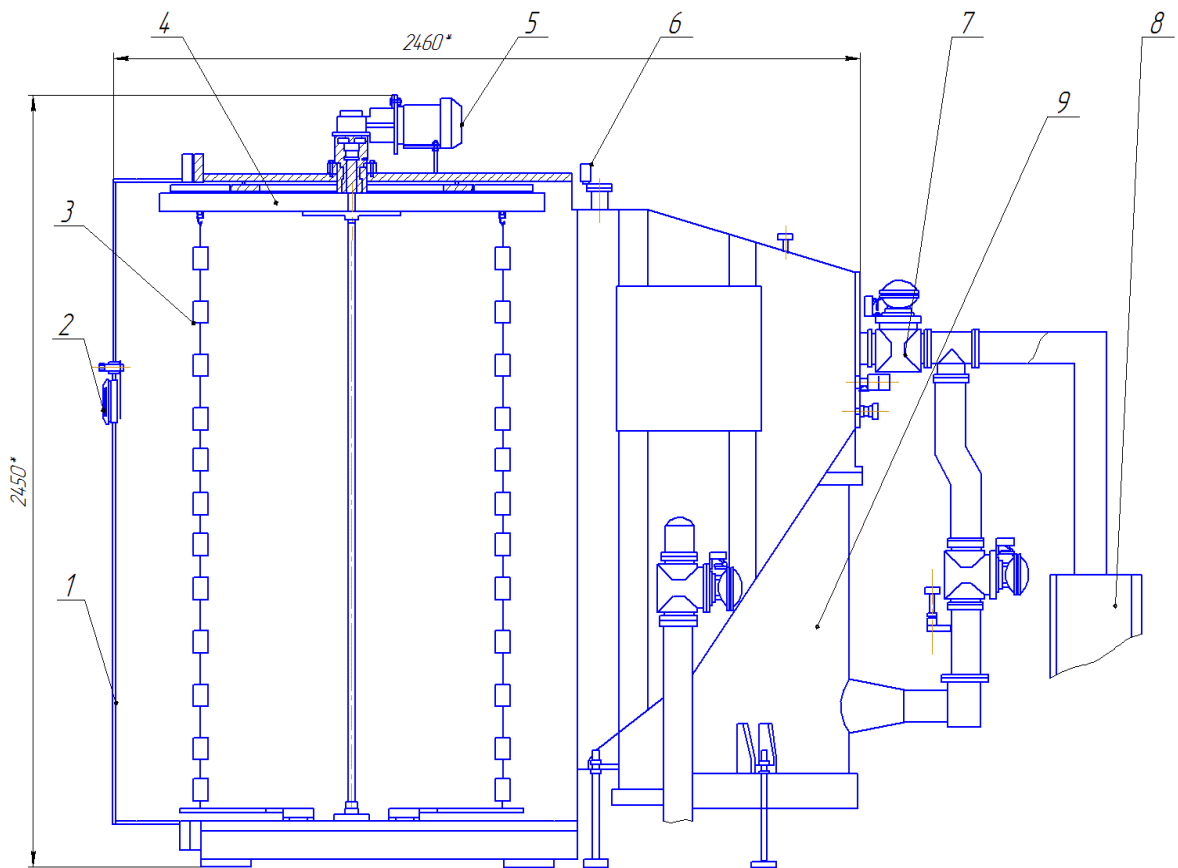
- Листи з нержавіючої сталі розміром 1000x2000 мм у кількості 2шт-4шт;
- Вироби складної форми розміром 1300x2000 мм з металу, кераміки, скла і т.д.;
- Дрібнорозмірні вироби із завантаженням до 20000 шт;
- Керамічну плитку;
- Труби діаметром до 150 мм.



Рисунок 2.1 - Загальний вид та робоче місце оператора

Таблиця 2.1-Склад установки

| № п / п | Найменування | Кількість |
|---------|---|-----------|
| 1 | Планарний дуговий випарник із системою циркуляції дуги і інверторними блоками живлення | 4-5 |
| 2 | Блок живлення високого / опорного. | 1 |
| 3 | Технологічне оснащення планетарного типу, 12 сателітів (можливий варіант технологічного оснащення безпосередньо під виробу замовника) | 1 |
| 4 | Форвакуумний агрегат АВЗ 180/АВЗ 20Д/НД 500 | 1 |
| 5 | Високовакуумний откачної модуль на базі дифузійного насоса НВДМ-630 | 1 |
| 6 | Затвор високовакуумний Ду 630 з пневматичний керуванням і можливістю дроселювання відкачування | 1 |
| 7 | Нагрівачі внутрішньокамерного з можливістю управління температурою підкладки до 600 ° С | 2 |
| 8 | Система пневматична на базі елементів SMC | 1 |
| 9 | Система гідравлічна на базі елементів SMC | 1 |
| 10 | Система автоматична подачі технологічних газів з можливістю роботи одночасно з 4-8 газами | 1 |
| 11 | Система управління на базі промислового контролера німецької корпорації WAGO Kontakttechnik GmbH. | |



1-Камера вакуумна; 2-вікно для спостереження; 3-фрези; 4-оснастка; 5-привід обертання; 6- датчик тиску; 7-пневматичний клапан; 8- насос Рутса; 9-промасляний насос;

Рисунок 2.2- Загальний вид та габаритні розміри установки ВТТ-1500

Технічні характеристики

1. Внутрішній розмір камери: $D = 1500$ мм, $H = 2200$.
2. Граничний залишковий вакуум 8×10^{-4} Па в камері.
3. Потужність, споживана установкою:
 - У режимі відкачування - 16 кВт;
 - У режимі очищення і нанесення покриття - 60 кВт.

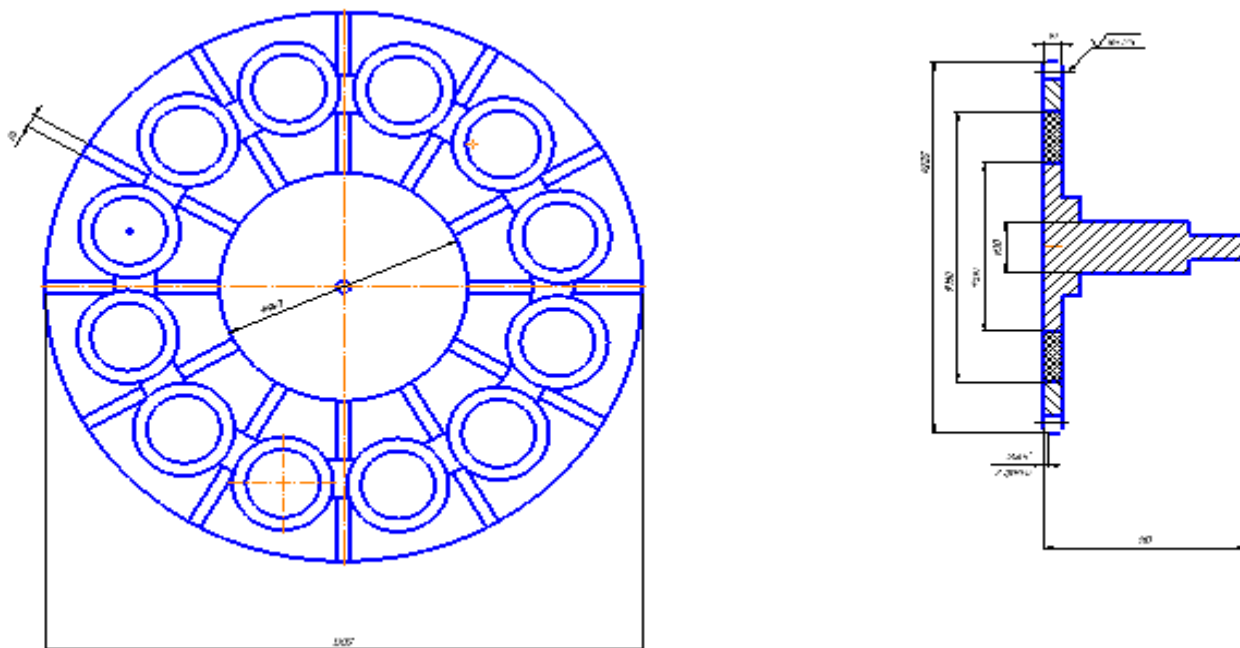


Рисунок 2.3 - Планетарний менаханізм

Механізм обертання виробів забезпечує кругове обертання і зворотно-поступальний рух виробів щодо вертикальної осі вакуумної камери і дозволяє встановлювати вироби на рівній відстані щодо нерухомих джерел наплення, що робить можливим отримання нерівномірних покриттів по периметру на заданій висоті на виробах складної форми. Більш того, виробам, встановленим на кріпильних елементах поряд з круговим обертанням, може надаватися і обертання навколо своєї осі, що значно розширює декоративні можливості, забезпечуючи нанесення покриттів по всій поверхні оброблюваних виробів. Осі всіх або частини кріпильних елементів пов'язані приводом обертання з корпусом вакуумної камери, причому обертання всіх кріпильних елементів здійснюється від одного двигуна. З огляду на те, що осі кріпильних елементів можуть мати різну довжину, можна створювати багаторясну складну систему обертання для групи, ідентичних або порівнянних за розмірами виробів з керуючою товщиною покриття для виробу кожного ярусу при отриманні змішаних, пошарових, складних (отриманих в ході плазмохімічної реакції) покриттів за один цикл завантаження. Це особливо зручно при отриманні елементів декоративного оздоблення, рекламних гірлянд, іграшок, інших

художньо-декоративних виробів. Форма виконання основи обертання планетарного механізму обертання виробів може бути різною. Зокрема, вона може бути виготовлена у вигляді диска, в якому виконані прорізи, отвори, пази для заміни та перестановки кріпильних елементів.

Призначення вакуумної установки

Вакуумна установка ВТТ-1500 (надалі установка) призначена для нанесення у вакуумі тонких плівок із зносостійкими і декоративним покриттям шляхом розпилення у вакуумі з електропровідних тугоплавких матеріалів титану, цирконію, молібдену та їх сполук з газами на різальний інструмент, листи з нержавіючої сталі. Зокрема установка буде використовуватися для зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням. Управління установкою здійснюється в ручному режимі через панель управління.

Установка повинна експлуатуватися на виробничих ділянках і в лабораторіях при температурі навколишнього повітря від 17 до 25 ° С, відносної вологості повітря від 40 до 75% і атмосферному тиску $8,4 \times 10^{-5}$ до $10,6 \times 10$ Па. Установка підключається до трифазної чотирьох дротової мережі змінного струму частотою 50Гц і напругою 380В. На встановлення подається: Холодна вода під тиском від 3×10 до 5×10 Па і температурою від 5 до 20 ° С, стиснуте повітря під тиском від 4×10 до 6×10 Па. Вода, що подається на установку, повинна відповідати вимогам ГОСТ 2874-82, а також наступних значеннях. Загальна жорсткість не менше 4мг. ЗКВ л. Відсутність суспензій твердих часток розміром більше 0,003 мм. стиснуте повітря, яке подається на установку, повинне відповідати Кл, 5 по ГОСТ 17433-80. Установка підключається до цехової каналізації, або до джерела із зворотного циркуляцією, що забезпечує необхідні характеристики. Підведення води повинно мати фільтр і реле протоки. Вакуумна установка не містить озоноруйнівних речовин.

2.2 Склад та принцип роботи

Схема вакуумна див рис. 2.3. Для прискорення відкачування об'єму камери з атмосфери у вакуумній схемі застосований форвакуумний насос АВЗ-180 рис.2.4. Необхідно знати, що клапан VF3 (див. рис.2.4.) Не відчиняється якщо: В камері є тиск менше 8 Па; Двері камери знаходиться в положенні "відкрито"; В цей час відбувається відкачування першої камери; Тиск у паромасляному насосі перевищує 8 Па.

Далі розглянемо алгоритм включення установки в ручному режимі. Після включення першого ступеня N L 1 форвакуумного агрегату N1, закривається напуск аварійного клапана VE і відбувається відкачка ділянки форвакуумної лінії до клапанів VF1, VF2. При цьому всі інші вакуумні клапана закриті. При досягненні на цій ділянці форвакуумної лінії тиску 10^3 Па, про що свідчить датчик PT1, відбувається відкриття форвакуумного клапана VF1 і виробляється відкачка дифузійного насоса ND1. При досягненні в дифузійному насосі тиску 10^3 Па, включається другий ступінь NZ1 агрегату N1. При досягненні в дифузійному насосі тисків 6 Па, вимірюваного датчиком PT2 включається нагрівач дифузійного насоса. При досягненні в дифузійному насосі тисків 6×10^{-3} Па, вимірюваного датчиком PM1, вмикаєм насос NL2, та відкриваєм клапан VF3, починається відкачування камери. При досягненні в камері тиску 10^4 Па відкривається байпасний клапан VF2, відключається насос NZ1. Починає проводитися відкачка об'єму робочої камери CV насосом NL 1 і насосом NL 2, а після досягнення в камері тиску 10^3 Па і насосом NZ1. Низький вакуум у камері заміряється датчиком PT3. При досягненні в камері тиску 100 Па, клапан VF3 необхідно закрити, відключити насос NL 2 і справити докачування камери агрегатом N L 1 до тиску 8 Па, байпасний клапан VF2 закривається і починає відкриватись затвор VM1. Високий вакуум у камері заміряється датчиком PM2.

Після завершення нанесення покриттів, закривається затвор VM1.

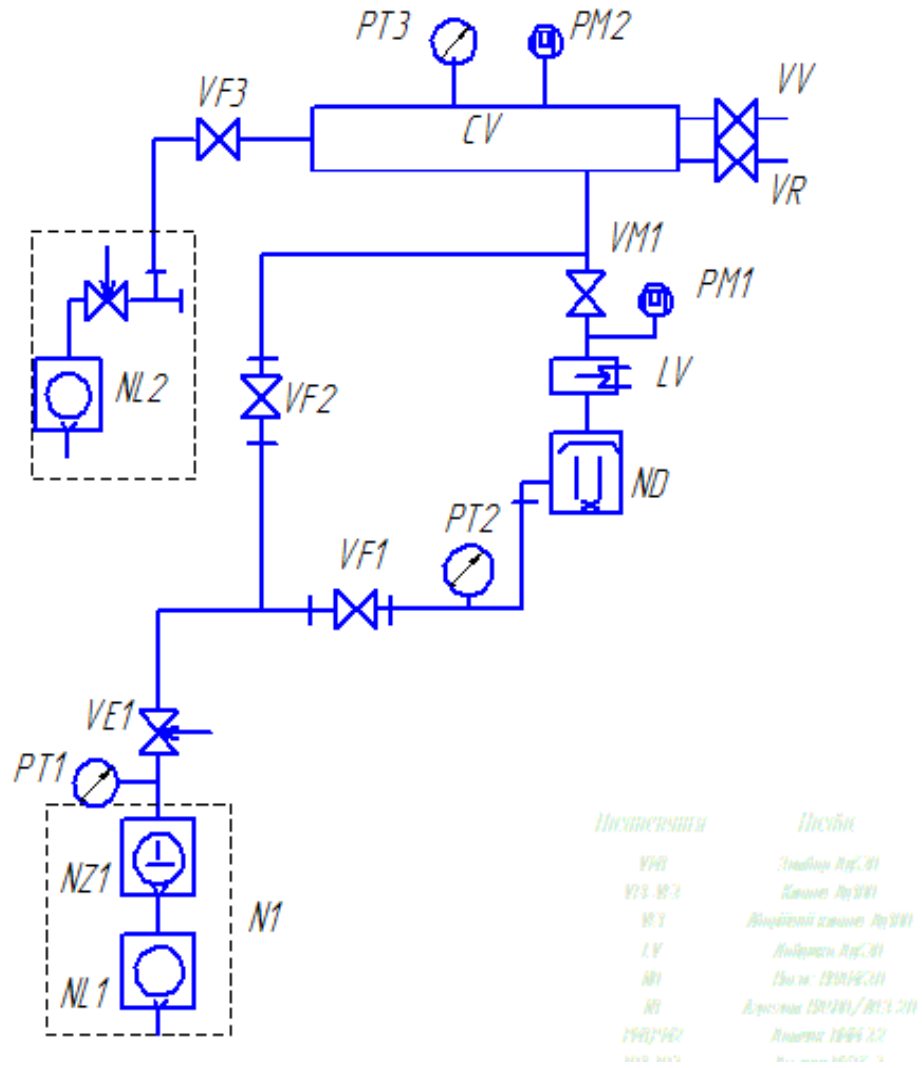
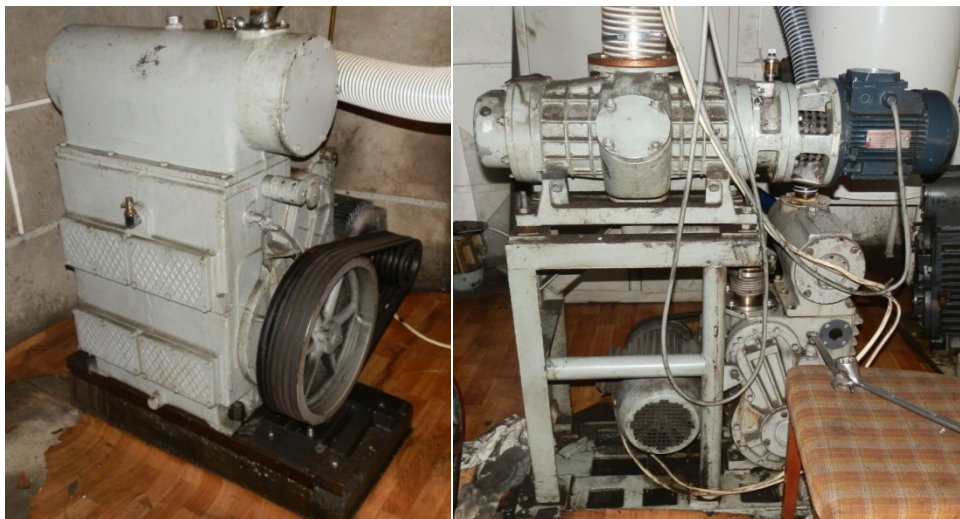


Рисунок 2.4- Вакуумна схема.



а)

б)

Рисунок 2.5 - а)форвакуумни насос АВЗ-180; б) ТМН-5000.

Потім при закритому байпасному клапані через клапан напуску VV проводиться напуск повітря в камеру. Дифузійний насос працює «сам на себе». Клапан VE призначені для замикання вакуумної системи і напуску повітря в форвакуумного агрегат N1, у разі їх аварійного знеструмлення.

Схема пневматична

Призначена для керування клапанами при відкачуванні, та заслонкою. Живлення відбувається стиснутим повітрям, яке постачається компресором.

Гідравлічна система

Призначена для подачі холодної води в сорочку охолодження дифузійного насоса, камери, дугових випарників. У гідравлічній схемі вакуумної установки є самостійні лінії подачі і зливу води.

Подача газів

Регулювання та подачу газу забезпечує автоматичний регулятор газу типу RRG-7-1 рисунок 2.6.



Рисунок 2.6- Регулятор газів RRG-7-1

Оснастка

Предназначена для закріплення фрез у вакуумній камері рисунок 3.6. Вона складається з двох кареток 1,2, які з'єднані між собою трьома стержнями 3, та вісью 4, фрези вставляються зверху в низ 5, а зверху зажимами 6 закріплюються та підвішуються на гачках 7.

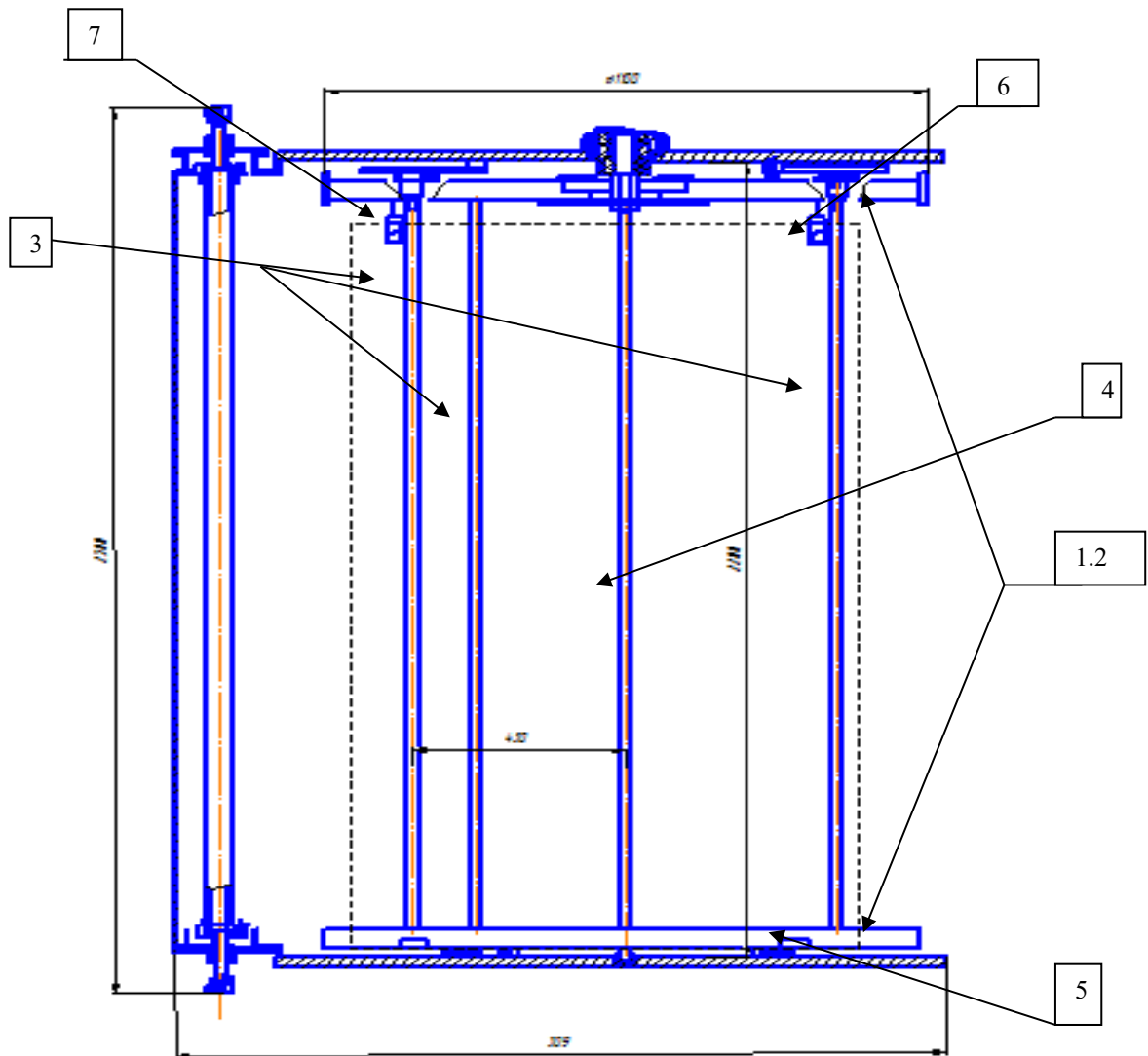


Рисунок 2.7 - Оснастка

Вимірювальні прилади

Вимірювання тиску в вакуумній системі установки ВТТ-1500 проводиться за допомогою трьох вакуумметрів 13ВТЗ-003 і магнітного електророзрядного блокувального вакуумметра ВМБ-14. Вакуумметр 13ВТЗ-003, який призначено для роботи в діапазоні тисків $10^{-1} \dots 10^5$ Па, працює з перетворювачем тисків ПМТ-6-3. Відлік тисків ведеться по шкалі мікроамперметру і градувальних графіків. Вакуумметр має релейний блок, який забезпечує автоматичну сигналізацію про досягнення двох заданих рівнів тиску по двом незалежним каналам.

Вакуумметр ВМБ-14 призначений для вимірювання тиску в діапазоні $10^{-7} - 1$ Па в автоматизованих вакуумних системах.

Цей прилад працює в комплекті з магнітним електророзрядним перетворювачем тиску ПММ-32-1. Відлік тиску відображається на світлоцифровому індикаторі і реєструється універсальним реєструючим блоком АЦП. У вакуумметрі передбачені вихід аналогового сигналу $0 \dots 10$ В, який пропорційний тиску, що вимірюється у відповідності з градуовальною характеристикою, світлова сигналізація про несправності перетворювача, а також сигналізація по двом незалежним каналам про досягнення заданого рівня тиску. Температура поверхні деталі контролюється пірометром ППТ із вторинним вимірювальним перетворювачем, який має на виході сигнал постійного струму $4 \dots 20$ мА.

2.3. Керування процесом напилення

Управління здійснюється за допомогою ПК на операційній системі Windows98, та контролера який розподіляє команди. Безпосередньо команди віддаються оператором на сенсорному моніторі. На рисунку 2.6 зображено схему управління, а на рисунку 2.7 блок схему підключення джерел живлення. Модулі аналогового вводу мають розширений динамічний діапазон і роздільну здатність, яка відповідає 16 бітам. Підключення модулів організовано за допомогою універсальної витої пари провідників, електроживлення — від джерела напруги постійного струму 10 - 30 В.

Вибір використовуваних модулів і їх розташування визначаються користувачем і можуть бути змінені шляхом додавання чи видалення модулів. Використання цифрового промислового інтерфейсу RS-485 для зв'язку з комп'ютером управління і передачі даних забезпечує підвищену заводо захищеність всієї системи.

Модулі збору даних мають гальванічну розв'язку по колу живлення і сигнальним лініям, що особливо важливо з точки зору заводо захищеності і іскробезпеки. Число під'єднаних до лінії (витої пари) модулів може досягати 32 од. без додаткового обладнання.

При необхідності подальшого розширення системи число модулів збільшують, встановлюючи спеціальний блок розширення, так званого повторювача (Repeater). Модулі дозволяють проводити збір вимірювальної інформації на відстані до 1 км від персонального комп'ютера, а використання блоків Repeater збільшує відстань на 1 км на кожен блок.

Взаємодія між комп'ютером управління і модулями збору інформації реалізується шляхом формування простих команд в форматі ASCII. Архітектура системи побудована по стандарту OPC, що дозволяє використовувати вимірювальні модулі різних виробників.

Встановлене на комп'ютері управління прикладне програмне забезпечення виконує наступні функції:

- обмін даними між комп'ютером управління і пристроями для вимірювання (контролерами, модулями вводу-виводу, аналоговими датчиками, пірометром) по каналам вводу-виводу, із підтримкою протоколів обміну;
- ведення бази даних реального часу для вимірюваних параметрів;
- архівування історії зміни вимірюваних параметрів;
- відображення значень вимірюваних параметрів на моніторі комп'ютера управління у вигляді динамічних елементів мнемосхем, а також в числовому, табличному і графічному видах;
- обробка подій, розрахунок швидкості конденсації, швидкості зміни температури деталі, остаточного тиску та ін.

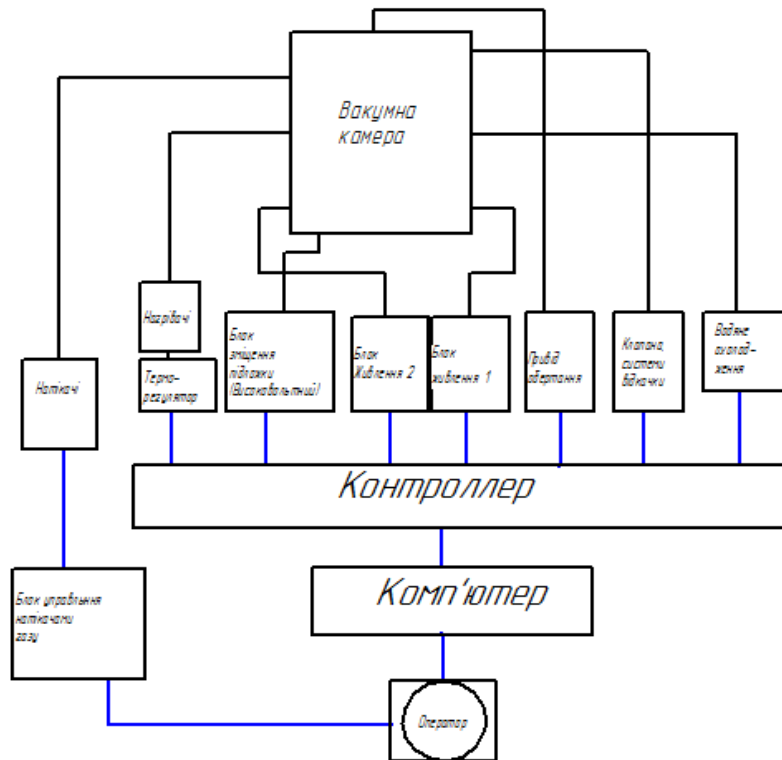
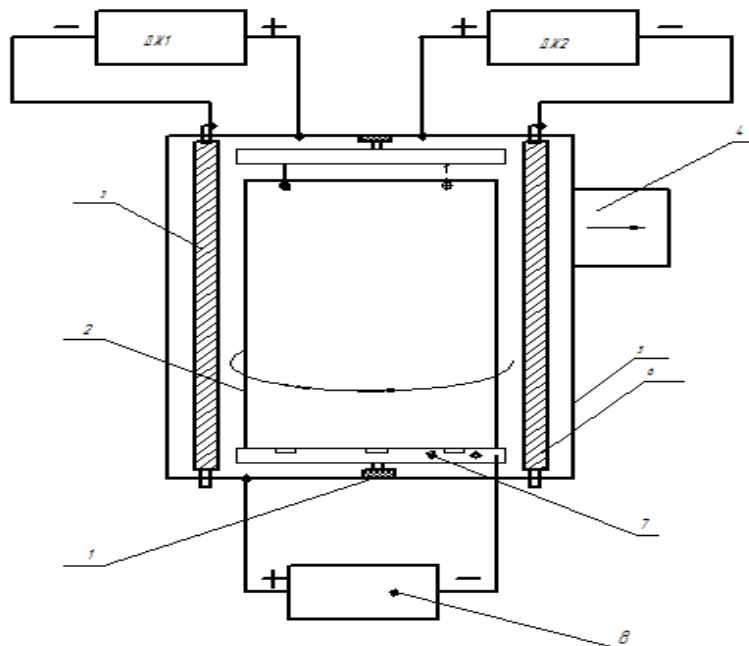


Рисунок 2.8- Схема управління установкою ВТТ-1500



1-ізолятор; 2-фреза; 3-електрод 1 ; 4-приєднання до вакуумної системи; 5-камера; 6-електрод 2; 7-оснастка; 8-блок високої напруги.

Рисунок 2.9 - Блок схема підключення джерел живлення

2.4 Модернізація установки ВТТ – 1500

Вдосконалення вакуумної установки ВТТ-1500:

- забезпечено безмасляне відкачування вакуумної камери. Для цього було замінено використовуваний у вакуумній установці паромасляні насос, в якому в якості робочої рідини використовується масло, на турбомолекулярний насос, який працює без масляного ущільнення. Така модернізація вакуумної установки дозволить отримати високоякісне зносостійке покриття за рахунок відсутності парів масел в обсязі робочої камери.

- для збільшення продуктивності і встановлено електродугові джерела з холодним катодом типу ВП.

- розроблено технологічну оснастку для нанесення покриття на чер'ячні фрези.

2.5 Вибір вакуумного насосу

Для створення середнього і високого вакууму застосуємо турбомолекулярний паромасляні насос типу Н-400 з граничним тиском $p_{пр1}=5 \times 10^{-7}$ Па і діапазоном швидкостей дії від 0,31 до 15,5 м³/с.

Ефективну швидкість відкачування в відкачуваному об'єкті визначимо за формулою:

$$S_{эф1}=Q/p_1, \quad (2.19)$$

де Q - сумарне газовиділення;

p_1 - робочий тиск в камері.

$$S_{эф1}=4 \cdot 10^{-4}/1,33 \cdot 10^{-3}=0,0004/0,00133=0,3 \text{ (м}^3\text{/с)}$$

Визначимо коефіцієнт використання високовакуумного насоса. Користуючись графіком на рисунком 2.8 при $n = 5$ знаходимо для $S_{эф}=0,3\text{м}^3/\text{с}$.

Оптимальне значення коефіцієнта використання $K_{и1} = 0,14$.

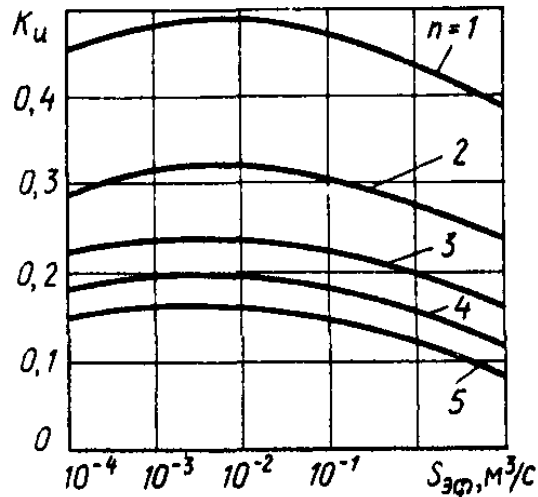


Рисунок 2.10 - Оптимальні коефіцієнти використання високовакуумних насосів в залежності від ефективної швидкості дії $S_{эф}$ і числа елементів між насосом і відкачуваним об'єктом n .

Визначимо номінальну швидкість дії за формулою:

$$S_{m1} = \frac{Q}{K_{u1} \cdot p_1 - p_{np1}} \quad (2.20)$$

де $K_{и1}$ - коефіцієнт використання високовакуумного насоса;

p_1 - робочий тиск в камері;

p_{np1} - граничний тиск високовакуумного насоса.

$$S_{m1} = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{0,14 \cdot 1,33 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-7}} = \frac{0,0004}{0,0001112} = 2,2 \text{ м}^3 / \text{с},$$

Найближчий по швидкості дії турбомолекулярний насос - ТМН-5000 [14, с. 400].

Характеристики турбомолекулярний насос - ТМН-5000 представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристики насоса ТМН-5000

| Характеристика | Значення |
|---|--------------------|
| Номінальна швидкість дії, м ³ /с | 6,3 |
| Діаметр входного патрубку, мм | 500 |
| Діаметр вихідного патрубку, мм | 100 |
| Найбільше випускний тиск, Па | 1 |
| Граничний тиск, Па | 5×10^{-7} |

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Обґрунтування та вибір матеріалу для напилення покриття

Розвиток сучасної техніки потребує створення матеріалів з високим комплексом фізико-механічних властивостей. Виготовлення деталей лише з одного матеріалу, який витримував би механічні, термічні, електрохімічні навантаження, практично виключається й доводиться використовувати комбіновані системи матеріалів, що складаються з основи й покриття. До найперспективніших матеріалів поруч з тугоплавкими металами та їх сполуками відносяться тугоплавкі металоподібні та неметалеві сполуки [15]. У більшості випадків експлуатаційні параметри та довготривалість роботи інструментів та деталей машин визначається станом їхніх робочих поверхонь. Тобто обов'язковою вимогою є тривале збереження функціональних властивостей поверхні [16]. Це актуалізує задачу збільшення довговічності роботи інструменту та деталей машин за рахунок нанесення на їх робочі поверхні захисних покриттів. Покриття з карбідів та нітридів перехідних металів широко використовують для підвищення стійкості й довговічності інструменту. При прогнозуванні поведінки цих покриттів вирішальне значення мають їх механічні властивості. Зазвичай міцність поверхневих шарів оцінюється на основі їх мікротвердості [17].

Основним матеріалом для напилення слугує водоохолоджуючий титановий електрод (катод) ,марки ВТ-1-00) високої чистоти (див.рис. 3.1).

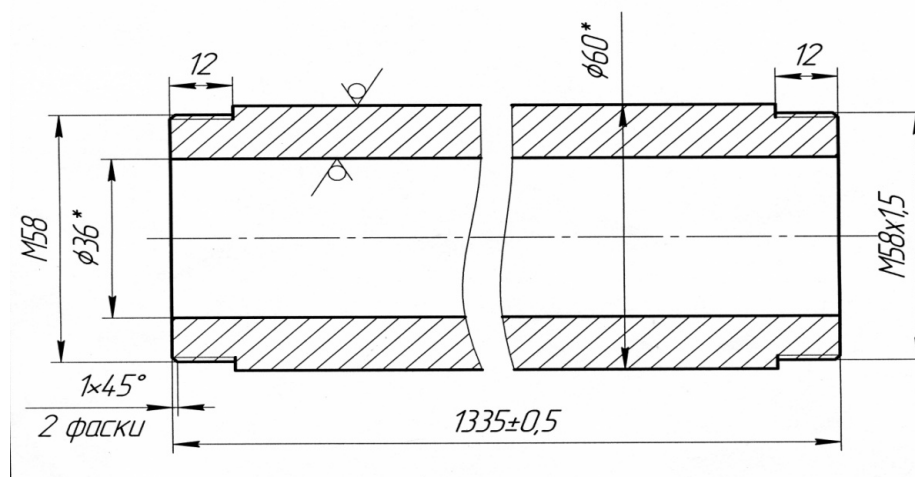


Рисунок 3.1-Титановий електрод

За своєю корозійною стійкістю у морській воді він перевершує всі метали, за винятком благородних – золота, платини, та ін., більшість видів нержавіючої сталі, нікелеві, мідні та інші сплави. Річ у тім, що реакції титану з багатьма елементами відбуваються тільки за високих температур. За звичайних температур хімічна активність титану надзвичайно мала і він практично не вступає в реакцію. Це пов'язано з тим, що на свіжій поверхні чистого титану, як тільки вона утворюється, дуже швидко з'являється інертна, що добре зростається з металом, найтонша (у кілька ангстрем ($1\text{Å}=10^{-10}\text{м}$)) плівка діоксиду титану (пасивація), яка охороняє його від подальшого окислювання. Якщо навіть цю плівку зняти, то в будь-якій середовищі, що містить кисень або інші сильні окислювачі (наприклад, в азотній або хромовій кислоті), ця плівка з'являється знов, і метал, як кажуть, її «пасивує», тобто захищає сам себе від подальшого руйнування.

Поведінка титану і його сплавів у різних агресивних середовищах.

Реакції титану з багатьма елементами відбуваються лише при високих температурах. При звичайних температурах хімічна активність титану надзвичайно мала і він практично не вступає в реакції. Пов'язано це з тим, що на свіжій поверхні чистого титану, як тільки вона утворюється, дуже швидко з'являється інертна, така, що добре зростається з металом якнайтонша (у декілька ангстремів ($1\text{Å}=10^{-10}\text{м}$)) плівка діоксиду титану, що оберігає його від подальшого окислення. Якщо навіть цю плівку зняти, то в будь-якому середовищі, що містить кисень або інші сильні окислювачі (наприклад, в азотній або хромовій кислоті), ця плівка з'являється знов, і метал, як то кажуть, нею «пасивується», тобто захищає сам себе від подальшого руйнування.

Міцність

При питомій міцності титан не має суперників серед промислових металів. Навіть такий метал, як алюміній, поступився рядом позицій титану, який лише у 1,7 раза важче алюмінію, але у шість разів міцніше. І що особливо важливе, титан зберігає свою міцність при високих температурах

(до 500 °С, а при додаванні легуючих елементів – 650 °С), в той час як міцність більшості алюмінієвих сплавів різко падає вже при 300 °С.

Титан – дуже твердий метал: він у 12 разів твердіший за алюміній, в 4 рази – за залізо та мідь. Що вище межа текучості металу, то краще деталі з нього опираються експлуатаційним навантаженням, то довше вони зберігають свої форми та розміри. Межа текучості титану у 18 разів вища, ніж в алюмінію, і в 2,5 рази – ніж у заліза.

Застосування. У вигляді сплавів, метал застосовується в хімічній промисловості (реактори, трубопроводи, насоси), легких сплавах, остеопротезах. Є найважливішим конструкційним матеріалом в авіа-, ракето-, кораблебудуванні. Титан є легуючою добавкою в деяких марках сталі. Нітінол (нікель-титан) - сплав, що володіє пам'яттю форми, що застосовується в медицині і техніці. Алюмініди титану є дуже стійкими до окислення і жароміцними, що в свою чергу визначило їх використання в авіації та автомобілебудуванні в якості конструкційних матеріалів.

Неорганічні сполуки титану застосовуються в хімічній електронній, скловолоконній промисловості в якості добавки. Диборид титану - важливий компонент надтвердих матеріалів для обробки металів. TiAlN застосовується для покриття інструментів та декорацій. Продуктивність різального інструменту обумовлено геометрією, матеріалом, якістю покриття. Покриття TiN і TiAlN мають велику зносостійкість, захищають інструмент від зносу поверхні, знижують енергоємність, підвищують надійність інструменту.

Часто використовувані покриття:

- TiN (нітрид титану) - базовий варіант покриття. Мікротвердість від 20 - 25 ГПа, володіє золотим кольором. Універсальний. Якщо користувач не здатний точно описати, в яких умовах він збирається застосувати PVD шари, в цьому випадку мова йде про це покритті. Перевагою TiN є хороша пружність і зчеплення.

- TiAlN (титан алюміній нітрид) - мікротвердість 30 - 33 ГПа, червоно-коричневий колір покриття. Відмінна стійкість до високих температур.

Підходить для високошвидкісної обробки. Можна використовувати без МОР.
(Мастильно охолоджуючої рідини).

Перевага покриття:

- перешкоджає утримування стружки при обробці (особливо у м'яких матеріалів)
- перешкоджає утворенню наросту на кромці інструменту
- зниження тертя інструменту
- зниження вібрації
- перешкоджає виникненню холодних швів
- підвищення швидкості різання на 40 - 60%
- підвищення стійкості інструменту на 400 - 600%

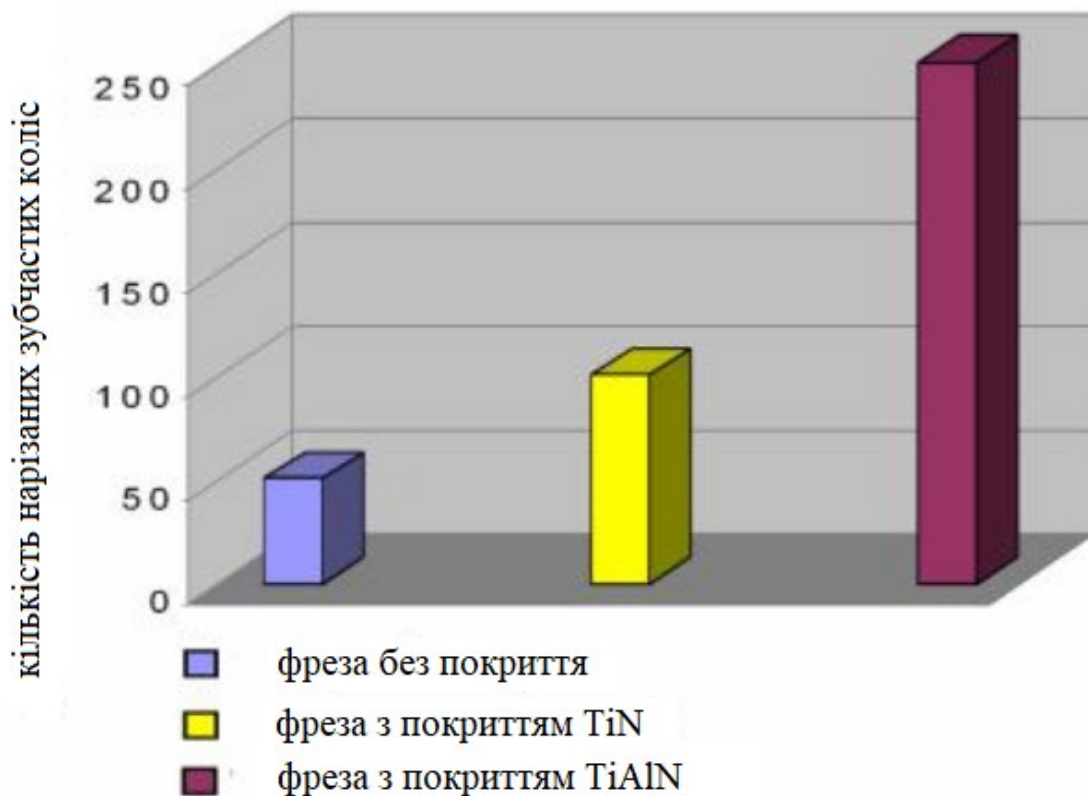


Рисунок 3.2 - Порівняння продуктивності нарізання зубчастих коліс

Таблиця 3.1- Хімічний склад електрода Тi %

| Марка титану | Fe | C | Si | N | Ti | O | H | домішок |
|--------------|---------|---------|---------|---------|-------------|--------|----------|-----------|
| BT1-00 | до 0.12 | до 0.05 | до 0.08 | до 0.04 | 99.5 – 99.9 | до 0.1 | до 0.008 | інших 0.1 |

Таблиця 3.2 – Хімічний склад електрода TiAl %

| Марка | Fe | C | Si | N | Ti | O | H | Al | домішок |
|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|----------|---------|-----------|
| BT1-00 | до 0.12 | до 0.05 | до 0.08 | до 0.04 | основа | до 0.1 | до 0.008 | 9.95-10 | інших 0.1 |

Для отримання з'єднання напилюваних металів застосовують гази особливої чистоти. Найбільш часто використовуються такі гази як азот, кисень, водень, вуглекислий газ, ацетилен. Для створення інертного середовища у вакуумній камері застосовують аргон або гелій. У нашому випадку буде використовуватись кисень та аргон.

Кисень який поставляється першого сорту у балонах. Упаковка, маркування, транспортування і зберігання газоподібного технічного кисню - по ГОСТ 26460-85. Номінальний тиск кисню при 20 ° С при наповненні, зберіганні та транспортуванні балонів має становити (14,7 + 0.5) МПа (150 + 5) кгс / см² або (19,6 + 1,0) МПа

Кисень застосування:

технічний кисень використовується у великих кількостях як окислювач гасу та інших горючих в ракетах і космічних апаратах. Сталеливарна промисловість споживає газоподібний кисень для продувки через розплав чавуну за методом Бессемера для швидкого і ефективного видалення домішок C, S і P. Сталь при кисневому дуття виходить швидше і якісніше, ніж при повітряному. Кисень використовується також для напилення і

наплавлення, зварювання та різання металів (киснево-ацетиленового полум'я), для плазмового високоточного розкрою металів.

Аргон: також постачають у 40 літрових балонах. Вимоги до сорокалітрового балону для транспортування та зберігання аргону детально викладені в ГОСТ 949-73 «Балони сталеві малого і середнього об'єму для газів». Відповідно до заявлених в цьому документі технічних умов такі балони повинні бути виготовлені з легованої або вуглецевої сталі. Такі параметри, як висота (довжина) корпуси, товщина стінок і вага різних різновидів цих ємностей залежить від того робочого тиску, який виникає при заповненні балона газом.

Технічні характеристики балона з легованої сталі: робочий тиск, 14,7 МПа (150 атм), ємність, (л 40), вага балона, (58,5 кг), товщина стінки, (6,8 мм), висота, 1370. мм

Аргон - елемент головної підгрупи 8-ї групи 3-го періоду періодичної системи хімічних елементів Менделєєва Д. І., з атомним номером 18.

- Символ: Ar
- Електронна конфігурація: 1s² | 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶
- Температура кипіння: -185,9 ° С
- Атомний номер: 18
- Атомна маса: 39,948 ± 0,001 а. е. м.

Загальні відомості про аргон: аргон є інертним одноатомним газом, які не мають кольору, запаху, смаку. У періодичній системі хімічних елементів аргон позначений символом Ar і має атомний номер 18. У загальному обсязі світової речовини міститься близько 0,02% аргону. У природі аргон поширений у вільному вигляді, а не в з'єднаннях. Атмосферне повітря містить 0,93% аргону і є невичерпним джерелом його отримання. Аргон також міститься в земній корі (1,2 · 10⁻⁴%) і морській воді (0,45 · 10⁻⁴%).

Для застосування у вакуумному напиленні застосовують газоподібний особливої чистоти ТУ 6-21-12-94.

- Об'ємна частка аргону не менше 99,997 (8)%
- Об'ємна частка азоту не більше 0,0013%
- Об'ємна частка кисню не більше 0,0005%
- Об'ємна частка водяної пари, що відповідає температурі насичення аргону водяними парами при тиску 101,3 кПа (760 мм рт. Ст.), Град. З, не більше 0,0005%, не вище - 63
 - Об'ємна частка суми вуглецевмісних сполук у перерахунку на CO₂,%, не більше 0,0005%.

Аналіз закономірностей випаровування і конденсації металів у вакуумі

Процес отримання плівок і покриттів методом випаровування та конденсації в вакуумі складається з двох етапів: випаровування речовини в вакуумі і подальшої конденсації пари на підкладці. Випаровування різних матеріалів у вакуумі, в тому числі і металів, відбувається при нагріванні до температури плавлення і випаровування (сублімації) або під час розпилювання (методи катодного і магнетронного розпилення).

Метали можна нагрівати резистивним методом (випарники прямоканального і непрямого нагріву), електронним променем, електричною дугою, струмами високої частоти. Способи нагріву, що визначають конструкції відповідних внутрішньокамерних пристроїв промислових вакуумних установок, детально описані в інструкції з експлуатації установок. Велика частина металів при нагріванні переходить в парову фазу через рідкий стан, тобто спочатку вони плавляться, а потім випаровуються [18]. Деякі метали (Cd, Zn, Мп і в окремих випадках чистий Сг) переходять з твердого стану, в парову фазу минаючи рідку (сублімує).

Характер розподілу іспаряємої речовини в просторі над випарником визначається двома основними параметрами: робочим тиском у вакуумній камері: високий вакуум ($l \gg d$), середній вакуум ($l = d$) і низький вакуум ($l \ll d$), де l - довжина вільного шляху молекул; d - лінійний розмір

вакуумної камери. Якщо тиск парів випаровується речовини (металу) при температурі T_i не перевищує 1,33 Па, то при робочому тиску у вакуумній камері порядку 10^{-2} Па і менше молекули й атоми випарованої речовини досягають поверхні підкладки без зіткнень між собою і з молекулами залишкових газів. У цьому випадку говорять, що реалізується молекулярний режим випаровування і конденсації, для якого справедливі закони Ламберта - Кнудсена: розподіл в просторі потоку речовини, випареного з плоскої поверхні, пропорційно $\cos j$ (j - кут між напрямком поширення парів і нормаллю до поверхні) число частинок, потрапляють на поверхню підкладки, обернено пропорційно квадрату відстані між випарником і підкладкою. Ці закони є базовими при аналізі закономірностей формування плівок на поверхнях різної конфігурації [18]. При аналізі процесу формування покриттів на підложки слід виділити два аспекти - фізичний і технологічний.

Фізичний аспект відображає закономірності формування початкових шарів покриття, характер поздовжньої і поперечної структур, рельєфу поверхні. Не розглядаючи детально теорію зародкоутворення і основні закономірності початкового росту кристалів, відзначимо, що процес конденсації і структура сформованої плівки істотно залежать від кінетичних параметрів конденсації, температури і потенційного рельєфу підкладки, щільності падаючого молекулярного пучка, характеру взаємодії зароджених атомів з підкладкою. Із зазначених параметрів істотним є температура підкладки. Численними дослідженнями встановлено, що на нейтральній (неоритованій) підкладці молекулярний пучок конденсується тільки в тому випадку, якщо температура нижче деякої критичної $T_{кр}$.

Принципово можливі і реалізуються на практиці два механізми конденсації молекулярних пучків випарованих речовин на різних підкладках - ПК (пар - кристал) і ПЖК (пар - рідина - кристал). Якщо реалізується механізм ПК, то частинки, конденсуються на початкових стадіях випаровування наважки, мають кристалічну будову, і в подальшому формується тільки кристалічна плівка. Механізм ПЖК проявляється в тому,

що зародження конденсованої фази на підкладці починається з появи на підкладці рідкої фази в вигляді крапель, які тривалий час існують на підкладці, після чого починається процес кристалізації. Розглянуті механізми кристалізації визначають різні характери формування і зростання плівки з парової фази (рисунок 3.3), що в кінцевому рахунку визначає властивості плівок.

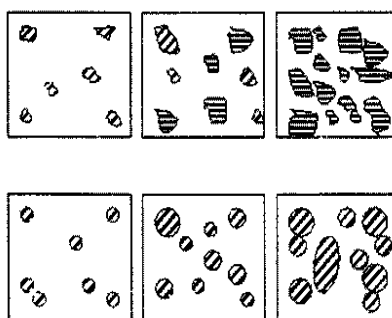


Рисунок 3.3 - Схеми початкових стадій формування конденсованої плівки

Якщо конденсовані атоми пов'язані з собою сильніше, ніж з поверхнею нейтральної підкладки, вони вільно і досить інтенсивно мігрують з її поверхні. При досить високій щільності потоку матеріалу, який випаровується речовини на поверхні підкладки утворюються зародки кристалічної фази або рідкої конденсованої фази, які спочатку розростаються спочатку в двох, а потім і в трьох напрямках [18]. Якщо ж сили взаємного зв'язку атомів або молекул, що конденсується речовини менше сил їх зв'язку з підкладкою, різко зростає вплив кінетичних параметрів підкладки на процес формування плівки за механізмом ПК.

Слід зазначити, що механізм конденсації залежить (в першому наближенні) від співвідношення температур підкладки T_p і температур плавлення $T_{пл}$ конденсуються речовин. При зміні T_p може змінитися механізм конденсації. При конденсації молекулярних пучків складного складу (наприклад, при нанесенні покриттів із сплавів) механізм конденсації залежить і від складу парової фази. Після завершення формування суцільного шару закономірності подальшого зростання плівки визначаються не

безпосередньо механізмом конденсації матеріалу, а в основному структурою первинно сформованих шарів.

Для аналізу рівної товщини використовують, як правило, ідеальну модель випаровування і конденсації, яка передбачає виконання законів Ламберта - КНУБА та формули Ленгмюра для швидкостей випаровування, а також повну конденсацію парів випарованої речовини на підкладці (коефіцієнт конденсації дорівнює 1 незалежно від матеріалу підкладки і інтенсивності потоку випарованої речовини) [18]. Процес випаровування відбувається з дзеркальної поверхні розплаву.

Технологічні параметри процесу формування покриттів.

За допомогою різних плазмових прискорювачів здійснюються процеси взаємодії прискорених іонних потоків з основою в різних режимах. На рисунку 3.4 наведена діаграма, що характеризує енергетичні параметри цих режимів. В області 1 конденсація переважає над розпиленням, тому має місце осадження покриття. Завдяки високій енергії іонів утворюється високоякісне покриття з гарною адгезією. Цьому сприяє безперервна іонне бомбардування осаждяемого матеріалу.

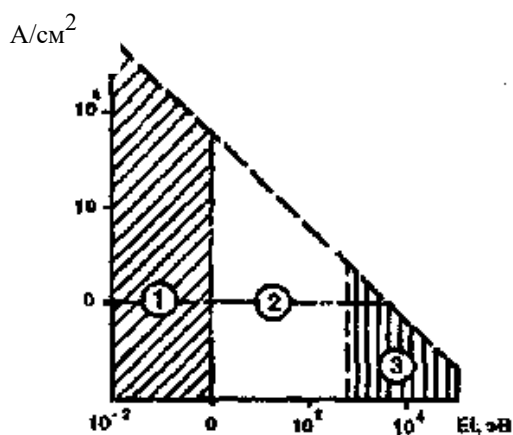


Рисунок 3.4 - Діаграма, що характеризує режим взаємодії іонних потоків з основою

При подальшому збільшенні енергії іонів до 104 eV починає переважати процес розпилення з одночасним впровадженням іонів в

матеріал основи. В результаті спотворення кристалічної решітки підвищуються її механічні властивості. Режим розпилення (область 2) має самостійне технологічне значення: травлення, очищення.

При травленні виявляється структура твердих сплавів, карбідів, боридів і т.д., які практично неможливо протравить іншими способами.

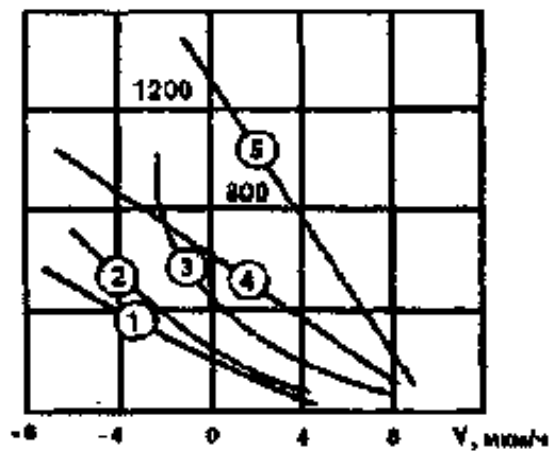
Область 3 відповідає процесам іонної імплантації, в основі якої лежить явище зниження коефіцієнта катодного розпилення при збільшенні енергії іонів [19]. Механічні властивості зміненої таким чином поверхні підвищуються.

Процес вакуумного електродугового осадження покриття включає дві основні операції: іонну очищення і конденсацію.

Очищення поверхні основи шляхом її бомбардування іонами - важливий етап підготовки до формування покриття. Завдяки високій енергії іонів, що досягає декількох кеВ [20], відбувається видалення адсорбованих і окисних плівок. Процес конденсації здійснюється після іонної очистки шляхом зменшення величини прискорюючого потенціалу, а, отже, зниження енергії іонів.

Енергія іонів, спрямованих до основи, складається з початкової енергії і енергії, придбаної в дебаєвському шарі, що примикає до основи. Зростання величини прискорюючого потенціалу змінює режим протікання процесу, переводячи його з зони конденсації в зону розпилення. Залежності швидкостей конденсації матеріалу покриття і розпилення основи від величини прискорюючого потенціалу на рисунку 3.3 показують [21], що на швидкість росту товщини конденсату істотно впливає тиск у вакуумній камері. При зростанні тиску процес переходу конденсації в розпорошення відбувається при великих величинах прискорюючого потенціалу, що пояснюється втратою енергії іонів при зіткненні з молекулами залишкового газу. Підвищення швидкості конденсації при зростанні тиску до $6 \cdot 10^{-2}$ Па автори пояснюють збільшенням товщини алюмінієвої плівки при

поглинанні кисню, а також зміною складу плазмового потоку, що взаємодіє з реакційним газом - киснем.



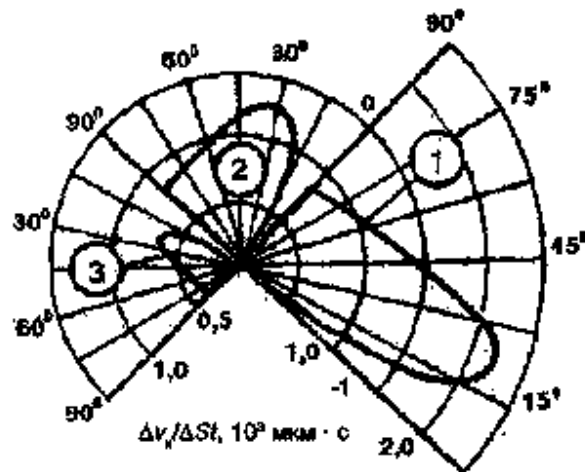
1 – Мо; 2 – Cz; 3 – Zr; 4,5 – Ti; вакуум $1 \cdot 10^{-3}$ Па; 5 – парціальное давление

$N = 2,6 \cdot 10^{-2}$ Па; температура основи – 500 С

Рисунок 3.5 - Залежність швидкості конденсації покриття і розпилення основи (стальР6М5) при взаємодії з поверхнею потоків плазми різних матеріалів від прискорюючого потенціалу

Подальше зниження швидкості росту конденсації пояснюється наведеними вище причинами, пов'язаними з втратою іонами енергії і їх розсіюванням на молекулах газу. Аналогічні за характером залежності швидкості росту конденсату TiN від тиску представлені в роботі [21].

Відомо, що фазовий склад плазмового потоку включає іонну, парову і крапельну складові. Зі збільшенням вмісту крапельної фази зростає кількість дефектів в покритті. Кутовий розподіл крапель різних розмірів [22] показує рисунок 3.6, що з метою отримання більш якісного покриття необхідно основу розташовувати на осі катода. В даний час для усунення крапельної фази використовують різні сепараційні пристрої. Покриття, отримані конденсацією сепарованого плазмового потоку, містять менше дефектів, характерних для конденсатів, обложених без сепарування.



1 – $p = 1 \text{ Па}$; 2 – $p = 1 \cdot 10^{-1} \text{ Па}$; 3 – $p = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па}$

Рисунок 3.6 - Кутовий розподіл крапель при різноманітному тиску у вакуумній камері

Однією з найважливіших характеристик вакуумних електродугових покриттів є мікротвердість. Вона чутлива до фазового складу та структури покриття, на які впливає парціальний тиск реактивного газу.

В даний час зміцнення робочих поверхонь деталей машин і механізмів шляхом їх азотування, цементації, нітроцементації не відповідає вимогам до зносостійкості. Вакуумний електродугової спосіб формування покриттів дозволяє отримувати зносостійкі покриття на основі тугоплавких металів, їх карбідів, нітридів, оксидів [23].

4 Розробка технологічного процесу

На установці ВТТ-1500 виконується процес нанесення TiAlN на черв'ячні фрези. А також при зміні оснащення є можливість напилювати деталей. У одному циклі виконується нанесення покриття на 162 черв'ячну фрезу.

Клас чистоти поверхні повинен бути не менше 7, та по можливості вище. Оскільки товщина захисного покриття складає 4мкм.

Технологічний процес описаний для нанесення покриття на фрези матеріал із результатом отримання відтінку фіолетово-чорного кольору. На таблиці 4.1 зображено технологічний процес.

Підготовка фрез

Підготовка поверхні деталі під напилення покриття є одним з важливих аспектів технології напилення покриттів. Підготовка поверхні деталі зводиться до двох процесів: очищення і знежирення. Очищення поверхні дуже впливає на міцність зчеплення напиленого покриття з матеріалом деталі. Якісне очищення поверхні створює максимально комфортні умови для отримання покриттів з високою адгезією до основного матеріалу деталі, тому що адгезія залежить не тільки від механічного зчеплення матеріалів, а й від сплаву напилюваного матеріалу з матеріалом основи, а також від освіти хімічних сполук в перехідній зоні.

Перед напиленням фрези треба оглянути на наявність дефектів, промити та обезжирити зі сторони нанесення покриття, етиловим спиртом, або при необхідності ацетоном.

Не допускається наявність ворсинок з тканини на поверхні фрез, так як вони ініціюють мікродугові розряди в процесі іонної обробки. Тканина повинна бути сухою та чистою, миття виконувати в чистих рукавичках б/п.

Завантаження фрез у камеру та очищення

Протерти оснастку та камеру бязью змоченою бензином, (один раз на протязі 4-5 циклів). Встановити фрези в оснастку без пошкодження

Таблиця 4.1 – Схема технологічного процесу

поверхні, закрити двері, ввімкнути привід обертання, підігрів камери, та почати відкачку форвакуумним агрегатом АВЗ 180/АВЗ 20Д/НД 500.до тиску 10^2 Па.

Вмикаємо подачу повітря за допомогою регулятора газу RRG-7-1
Вмикаємо іонізатор, при струмі приблизно 500-700мА, та напрузі 1500-2000В, виконуємо чистку в тліючому розряді, регулюючи напругу та не допускаючи переходу тліючого розряду в дуговий. Через 5-7 хвилин очистку завершити. Вимкувши подачу повітря, і відкачавши до тиску 3×10^{-2} Па, відкрити затвор, та почати відкачування на високий вакуум.

Нанесення адгезійного підшару із титану

Досягнувши вакууму 10^{-2} - 10^{-3} , встановлюємо на підкладці напругу 100 В, вмикаємо подачу газу азот на RRG-7-1 , вмикаємо охолодження випаровувача, вмикаємо блоки живлення випаровувачів, встановивши струм 160-180 А , та розпочинаємо наплення на протязі 4-5 хв.

Нанесення оксиду титану

Для забезпечення стабільної роботи паромасляного насосу, закриваємо заслонку на приблизно на 80%, вмикаємо подачу азоту, встановлюємо режими, 100 В опорної напруги, струм дуговиків такий самий які при нанесенні підшарку.

Напилюємо 5 хвилин, після чого зменшуємо опорну напругу до 50 В на протязі 10 хвилин.

Розвантаження

Вимкнувши всі джерела живлення, в тому числі напуск газу, закриваємо усі клапана що з'єднують камеру з насосами. Відкриваємо клапан напуску повітря. Відкриваємо двері, знімаємо фрези з оснастки, та ставимо на стійку.

Контроль якості

Встановлюємо фрези на стенд зі зразком. Контроль за зовнішнім виглядом проводиться з метою виявлення зовнішніх дефектів - відколів, здуття, відшарувань, тріщин, раковин. Огляд здійснюють з використанням лупи 10-кратного збільшення ЛІ-3, ЧІ-4 по ГОСТ 25706-83. При

висвітленні лампами розжарювання освітленість на рівні робочого місця повинна бути не менше 150 лк, при освітленні люмінесцентними лампами по ГОСТ 1182-77 не менше 300 лк. Товщину покриття на деталях вимірюють штангенциркулем ГОСТ 01.01-87, мікрометрів ГОСТ 6507-78, гравіметричним і металографічним методами, а також товщиномірами різного типу.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Мета розділу - рішення і огляд таких питань:

- забезпечення безпечних та здорових умов праці;
- безпечної роботи устаткування;
- пожежної безпеки на об'єкті;
- відсутності травматизму на підприємстві;
- створення безпечних і нешкідливих умов праці.

5.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

При вакуумно-конденсаційному нанесенні покриття мають місце наступні небезпечні та шкідливі фактори:

Небезпечний рівень напруги в електричних ланцюгах;

Пожежонебезпека;

Вибухонебезпека;

Підвищений рівень шуму та вібрації;

Підвищений рівень запиленості.

Основними причинами враження електричним струмом є доторкання до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою в робочому режимі.

Джерелом можливого враження електричним струмом є основне технологічне обладнання, до якого прикладена напруга 1500В (в режимі іонного очищення) та 300В (в режимі нанесення покриття) постійного струму, та електрообладнання, напруга живлення якого 380В змінного струму.

Попереднє обезжирення інструмента передбачає використання бензину, ацетону та спирту.

Вочевидь, що в повітрі робочої зони будуть присутні шкідливі пари цих речовин, які викликають алергічні захворювання в виробничих умовах. Гранично допустимі концентрації: бензину 100 мг/м³, ацетону 200 мг/м³, спирту 1000 мг/м³.

В процесі нанесення покриття інструмент нагрівається до високих температур 100 -150°C . Після нанесення покриття інструмент охолоджується з камерою до температури 50-70°C. Потім оператор повинен дістати його для остаточного охолодження на повітрі, тому при таких умовах виникає небезпека отримати опік шкіри. Гранично допустима температура поверхонь 80°C.

5.2 Інженерні вирішення для забезпечення безпеки технологічного процесу та запобігання дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Для попередження дії токсичних речовин передбачені:

Окреме приміщення для приготування розчинів та робіт з токсичними речовинами, яке обладнане загальною обмінною та місцевою витяжною, вентиляцією;

Місцева витяжна вентиляція на робочих місцях від вакуумної камери та витяжної шафи . Швидкість повітря в робочому перерізі місцевої вентиляції повинна бути не менша 0,6 м/с;

Очищення видаленого вентиляцією повітря, що забруднене шкідливими речовинами, для цього вентиляція оснащується фільтром для очищення повітря від пилу;

Світлову та звукову сигналізація , яка сповіщає про припинення роботи вентиляції;

Індивідуальні засоби захисту (респіратор фільтруючий універсальний РУ-60М).

Для попередження дії шуму та вібрації передбачено використання активних трубчастих глушителей абсорбційного типу для облицювання звукопоглинаючими матеріалами внутрішньої поверхні повітропроводів (мінераловатні щити, $\alpha = 0,98$ при $f = 1000$ Гц , $\delta = 30$ мм для глушіння шуму високих частот);

Для попередження враження електричним струмом:

Захист ізоляції зовнішньої електропроводки від термічних та механічних пошкоджень;

Установка ізоляційних огорожень, захисних кожухів. Прилади для відключення живлення у шафі керування та автоматичні вимикачі;

Надійне заземлення всіх струмоведучих частин обладнання, які мають бути під напругою;

Опір ізоляції між корпусом та підкладкотримачем (до якого прикладена напруга до 1500В постійного струму) 20МОм;

Опір між пристроєм заземлення і будь — якою металічною частиною установки, крім конструктивно ізольованих елементів, не більше 0,1 Ом;

Опір ізоляції між джерелом плазми та корпусом камери 1МОм.

Мікроклімат

Мікрокліматичні вологості, швидкості руху повітря в робочій зоні або в зоні обслуговування та на постійних робочих місцях, встановлені відповідними нормами.

Оптимальними (комфортними) мікрокліматичними умовами вважаються такі умови, при яких має місце найвища працездатність і хороше самопочуття. Допустимі умови передбачають можливість напруженої роботи механізму терморегуляції, що не виходить за межі можливостей організму, а також дискомфортні відчуття.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні дотримуватись:

Допустимі параметри повітря всередині виробничих приміщень для теплого періоду року обов'язкові для всіх параметрів (середня температура о 13 год. найбільш теплого місяця) не перевищує +25 °С.

Параметри мікроклімату (ДСН 3.3.6.042-99) [12] в таблиці 5.1

Незалежно від мікрокліматичних умов у робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати ГДК.

Для поліпшення температурних параметрів, потрібно встановити ребристі батареї, не менше семи секцій на одну.

Таблиця 5.1 - Параметри мікроклімату на робочому місці

| Період | Категорія робіт | Енерговитрати, кКл/г. | Параметри | | | | | | ІЧ випромінювання | | | | Примітка |
|----------|-----------------|-----------------------|-----------|------|--------|-----------|------|--------|------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|---|
| | | | Фактичні | | | Допустимі | | | Джерело випромінювання | Відстань від джерела, м. | Випромінювання, Вт/м ² . | Норма | |
| | | | W, °C | W, % | V, м/с | T, °C | W, % | V, м/с | | | | | |
| Холодний | Пб | 210 | 18 | 77 | 0,8 | 15-21 | 75 | 0,4 | Дуга | 0,4 | 45 | 140 | Система вентиляції і місцевий відсмоктувач від камери |

Вентиляція

Для вакуумно-конденсаційного наплення застосовуються місцева витяжна вентиляція. Вона дає змогу вловлювати шкідливі речовини безпосередньо у місцях їх виділення. Пристрої місцевої витяжної вентиляції поділяють на всмоктувачі відкритого та закритого типу.

В нашому випадку застосовуємо місцеву витяжну вентиляцію закритого типу у вигляді вентиляючої камери, в якій проводиться операція наплення при якій інтенсивно виділяються шкідливі речовини. Параметри роботи відсмоктувача наведені в таблиці 5.3

Освітлення

Освітлення повинно відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 [24]. Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях для компенсації нестачі природного світла та для освітлення приміщень у темний період доби. Від того, наскільки кваліфіковано воно спроектоване залежить

безпека праці та самопочуття працівників, продуктивність їхньої праці та якість продукції. Відомо, що раціонально виконане штучне освітлення приміщень при одній і тій же витраті електроенергії підвищує продуктивність праці на 15—20%. Разом з тим неправильно вибране та недостатнє освітлення робочих місць може бути причиною функціональних зорових порушень у працівників.

З метою оптимізації виробничого освітлення передбачають:

- обмеження прямої блискучості за рахунок добору конструкції світильників;
- очищення світильників, вікон від забруднень один раз на 3 місяці;
- фарбування стін титановими або цинковими білилами з високим коефіцієнтами відбивання для видимого світла за низьким коефіцієнтом для ультрафіолетових променів.

На нашому робочому місці створюються суміщене освітлення (штучне та природне - одnobічне бокове).

Таблиця 5.2 - Технічні характеристики люмінісцентної лампи ЛД 100

| Потужність, Вт. | Напруга мережі на лампі, В. | Світловий потік номінальне, лм. | Колірна температура, К |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 100 | 220 | 2340 | 4000 |

Шум, вібрація

Джерелами шуму на ділянці, що аналізується, є плазмовий розпилювач, джерело живлення, вентилятори, транспортно-технологічні пристрої та технологічних процесів. За часовою характеристикою шум є постійний (рівень звуку за 3 години роботи установки 68 дБ. Отже виробничий шум перевищує допустимий, тому проводиться захист. Для

захисту від шуму передбачаємо використання активних трубчастих глушителей абсорбційного типу для облицювання звукопоглинаючим матеріалами (ЗПМ) внутрішню поверхню захисної камери $\alpha = 0,98$ при $f = 1000$ Гц, $\delta = 80$ мм для глушіння шуму НЧ, $\delta = 30$ мм для шуму ВЧ. Для захисту від вібрації передбачаємо: віброізоляцію обладнання (віброізолюючі опори, тощо). Пасивна віброізоляція (віброізольована підлога, підставки на робочих місцях). В результаті цих заходів рівень вібрації L знижується на 40%.

Таблиця 5.3. Результати виміру шуму та вібрації (ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99)

| Місце заміру | Додаткові відомості: умови заміру; тривалість впливу шуму (вібрації) за робочу зміну | Характер шуму | | Вид вібрації | Рівні звукового тиску, дБ | | | Рівень звуку, дБ | Допустиме значення |
|--|--|---------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-----|----|------------------|--------------------|
| | | За спектром | За часовим характером | | 6 | 1,5 | 3 | | |
| Нанесення вакуумно-конденс. покриття у витяжній камері | 3 години в зміну | X | | локальний | | | | 68 | 80 |
| Нанесення вакуумно-конденс. покриття у витяжній камері | 3 години в зміну | | | X | 84 | 84 | 84 | 84 | 96,2 |

Умови праці згідно 3-ого класу III-го ступеня. Вплив електромагнітних полів Джерелами електромагнітних полів є – зварювальний генератор трансформатор, струмовідводи, пристрої автоматики. Вони належать до вузлових груп антропогенних джерел електромагнітного випромінювання. Для захисту від ЕМП (ДСН 3.3.6.096-2002) [27] застосовуємо екранування джерел випромінювання екранами з металевих листів; або сіток у вигляді замкнених камер, шаф або кожухів.

Значення напруженості електричного поля $E = 0,85$ кВт/м² та магнітної $H = 100$ А/м, поля не виходять за межі гранично допустимих $E \leq 1$ кВт/м², $H = 1400$ А/м., на частоті 50 Гц.

5.3 Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека

Згідно з НАПББ.03.002-2007 [26] приміщення з точки зору вибухопожежної небезпеки належить до категорії Г (негорючі речовини й матеріали у гарячому, розжареному, розплавленому стані процеси обробки яких супроводжуються виділенням променистої теплоти, іскор, полум'я, горючі гази, рідини, тверді речовини, які спалюються чи утилізуються у вигляді палива).

У приміщенні виділяється (ДНАОП 0.00-1.21-98) [25] зона П-Па, де обертаються тверді горючі речовини. Категорія за БЕМЗ (безпечний експериментальний максимальний зазор між фланцями оболонки, мм ПА (>0,9 мм). Група вибухобезпеки сумішей (за температурою самозапалювання/(T1/ T C/V >450 °C). Ступінь вогнестійкості будівлі - I (не допускається поширення вогню на основні будівельні конструкції) мінімально припустиме обмеження вогнестійкості — 2,5 год, максимально припустиме обмеження поширення вогню для внутрішніх стін .

Категорія захисту від блискавки - I/СН 305-77/, від прямих ударів використовують блискакководи стержньові.

Пожежна безпека забезпечується:

- запобіганням спалаху ізоляції при КЗ за рахунок максимального струменевого захисту;
- запобіганням утворення горючого середовища за рахунок надійної герметизації обладнання, обмеженням застосування і зберігання горючих і вибухонебезпечних речовин; застосуванням пожежної сигналізації з датчиком (ІДФ-І, ДПД і ін.); Застосовуємо вогнегасники типу УО, ОП-ІОА (вибрати тип і кількість відповідно до НАПБ Б.03.002-2007) [26].

Передбачається також аварійне стравлювання горючих газів із апаратури.

Рекомендована періодична очистка робочого місця цеху, апаратури від горючих відходів, відкладання пилу, вилучення пожежонебезпечних відходів виробництва, заміна ЛВЖ і ГЖ на пожежобезпечні технічні миючі засоби.

Передбачені пристрої, які забезпечують обмеження поширення пожежі.

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

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

У випадку потрапляння кого-небудь під напругу, необхідно відключити зварювальний агрегат від мережі, покласти потерпілого на деревинний настил, викликати лікаря за телефоном 103 і, якщо це необхідно, зробити пострадалому 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 заводську 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 одержання травми необхідно довести до відома про це майстра, начальника дільниці та звернутися в медпункт.

6 Розробка стартап-проекту

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

Розділ магістерських дисертацій «Розроблення стартап-проекту» присвячено реалізації першого етапу розроблення стартап-проекту, а саме висвітленню маркетингових аспектів створення стартапу: відбору ідей, створенню концепції продукту, визначення перспектив ринкової реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії. Розділ є завершальною частиною магістерської дисертації і виконується у вигляді оцінювання можливостей та формування заходів із ринкового впровадження інноваційних пропозицій магістранта [28].

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації запропонованих магістрантом науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження.

6.1 **Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)**

Перші три пункти подаються у вигляді таблиці (див.табл. 6.1) і дають цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 6.1.- Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|---|--|---|
| Зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням | 1.Машинобудування | 1.Подовження ресурсу роботи черв'ячної фрези, що є більш економічно вигідно. 2.Отримання більш зносостійкого шару. |
| | 2. Станкобудівна і інструментальна промисловість | |
| | 3. Оборонна промисловість | |
| | 4.Суднобудівна промисловість | |

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (див.табл. 6.2):

Таблиця 6.2 -Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № n/n | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|---|---|----------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням | Магнетронне розпилення | Технологія наявна | Недоступна |
| | | Іонно-променеве розпилення | Технологія наявна, потрібна доробка | Доступна |
| | | Іонно-плазмове напилення | Технологія наявна | Доступна |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту: За результатами аналізу таблиці ми прийшли до висновку, що ідея проекту зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням технічно можлива, вибираємо технологію зміцнення Іонно-плазмове напилення. | | | | |

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (див.табл. 6.3).

Таблиця 6.3 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

| № n/n | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги споживачів до товару |
|----------|---------------------------|--|---|---|
| | Нарізання зубчастих коліс | Машинобудування, станкобудівна і інструментальна промисловість, оборонна промисловість, суднобудівна промисловість | Різність стандартів, технічних регламентів | 1.Покриття повинно забезпечити високу зносостійкість 2. Тощинна покриття повинна бути не менше 4мкм. |

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4) на основі виділених ринкових загроз та можливостей. Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна

зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 6.4 - SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|--|
| <p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - збільшення ресурсу роботи черв'ячних фрез- - перешкоджає утримуванню стружки при обробці (особливо у м'яких матеріалів) - перешкоджає утворенню наросту на кромці інструменту - зниження тертя інструменту - зниження вібрації - підвищення швидкості різання на 40 - 60% - підвищення стійкості інструменту на 400 – 600% | <p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - висока конкуренція на ринку - відсутність досвіду виробництва - маловідомість нашого виробництва |
| <p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - розширення географії продажів товарів - можливість використання маркетингу в соціальних мережах | <p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - зниження доходів частини клієнтів - поява інших конкурентів на внутрішніх ринках |

Висновок: проект зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням має можливість ринкової комерціалізації, аналізуючи ринок можна побачити, що є попит на дану продукцію, гарна динаміка росту ринку.

Перспективи виходу на ринок є, тому що в даний час наш проект має високу конкурентоспроможність. Доцільна подальша імплементація даного проекту.

Висновок

У данному дипломному проекті було розглянуто метод іонно-плазмового нанесення нітриду титану на черв'ячні фрези, для отримання зносостійких властивостей. Було охарактеризовано декілька подібних способів, та обґрунтовано вибір Іонно-плазмового напилення.

Серед розглянутих матеріалів порівняли альтернативні варіанти нанесення покриття та впевнились що титан алюміній нітрид має найстійкіше покриття для черв'ячної фрези. Модернізували установку ВТТ-1500, розробили технологічний процес. Описали сферу застосування черв'ячних фрез з покриттям такого типу.

У розділі 5 розробили та проаналізували всі заходи по забезпеченню безпечної роботи працівників, шляхом додаткового встановлення вентиляційних систем.

У розділі 6 провели розробку стартап проекту, оцінили галузі застосування нашого проекту. проект зміцнення черв'ячних фрез вакуумно-дуговим напиленням має можливість ринкової комерціалізації, аналізуючи ринок можна побачити, що є попит на дану продукцію, гарна динаміка росту ринку. Перспективи виходу на ринок є, тому що в даний час наш проект має високу конкурентоспроможність. Доцільна подальша імплементація даного проекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Верещака, А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями: учебник / А.С. Верещака. – Москва.: Машиностроение, 1993.– 336 с.
2. Грубе, А.Э. К вопросу о температурном поле дисковых пил для продольной распиловки древесины: Лесной журнал / А.Э. Грубе.– Москва.: Машиностроение, 1966. – 104 с.
3. Токарев, В.В. Червячные зуборезные фрезы: учеб. пособие / В.В. Токарев.– Москва.: Машиностроение, 1998.– 136 с.
4. Нефедов, Н.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: учеб. пособие для техникумов / Н.А. Нефедов. – Москва.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
5. Шунаев, Б.К. Основы выбора рациональной величины периодических осевых перестановок червячных фрез. Повышение производительности механической обработки: учеб. пособие / Б.К. Шунаев.– Свердловск.: изд. УПИ, 1974.–195 с.
6. Ничков, А.Г. Расчет силы резания при зубофрезеровании методом моделирования: Сб. докладов конференции по зубообрабатывающему инструменту / А.Г.Ничков.– Москва.: Техноперспектива, 1969. – 457 с.
7. Марочник сталей та сплавів. Харків. [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=301
8. Електронна бібліотека. [Електронний ресурс] - Режими доступу: <http://bibliograph.com.ua/tverdye-splavy/69.htm>
9. Довідникник оператора установок по нанесенню покриття у вакумі/А. И. Костржицкий, В. Ф. Карпов, М. П. Кабанчен-ко и др.—М.: Машиностроение, 1991. — 176 с: ил
10. Москва: Металургія, 1992.—Нікітін М.М. Технологія і обладнання вакуумного напилення.

11. Трофімова Т.І. Курс фізики. - М.: Вища школа, 2004 - 544 с.б.
12. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
13. ДСТУ EN 169-2001. Засоби індивідуального захисту очей. Фільтри під час виконання зварювання та споріднених процесів. Вимоги до пропускання та рекомендації щодо використання.
14. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника / Л.Н. Розанов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 391 с.
15. Витязь П.А., Дубровская Г.Н., Кирилук Л.М. Газофазное осаждение покрытий из нитрида титана. – Минск: Наука и техника, 1983. – 96 с.
16. Антонюк В.С., Дигам М.С. Новое в формировании упрочняющих покрытий фрикционных поверхностей // Сучасне машинобудування, 1999. – № 1. – С. 105–110
17. Бякова А.В., Горбач В.Г., Власов А.А. Структурные аспекты повышения работоспособности покрытий из высокопрочных материалов // Проблемы прочности. – 1993. – № 9. – С. 48 – 54
18. Мрочек, Ж.А. Плазменно-вакуумные покрытия: Монография / Ж.А. Мрочек, А.К. Вершина, С.А. Иващенко, И.А. Иванов. – Минск.: Технопринт, 2004.–395 с.
19. Мартыненко, В.А. Ионная имплантация: учеб.пособие / В.А. Мартыненко. — Москва.: Металлургия, 1985. —252 с.
20. Мирошниченко, Ю.Т. Исследование свойств молибденовых конденсаторов, полученных методом вакуумно-плазменного осаждения: Вопросы атомной науки и техники / Ю.Т.Мирошниченко. – Москва.: Машиностроение, 1983.— 87 с.
21. Аксенов, И.И. Получение покрытий на основе окиси алюминия из сепарированного потока плазмы вакуумной дуги: учеб.пособие / И.И.Аксенов.— Москва.: Машиностроение, 1977. — 92 с.
22. Кринченко, В.Т. Применение вакуумной плазменной

металлизации в производстве изделий электронной технике: учебник / В.Т. Кринченко. — Москва.: Машиностроение, 1982. — 325с.

23. Оборудование и технологические аспекты нанесения в вакууме защитно-декоративных покрытий. Теория и практика противокоррозионной защиты в отраслях народного хозяйства: учеб. пособие для вузов / Ж.А.Мрочек, [и др]; под общ. ред. Ж.А. Мрочека. — Кишинев.: Технострой, 1984. — 220с.

24. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

25. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

26. НАПБ Б.03.002-2007. Визначення категорії приміщень, будинків там зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

27. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми та правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

28. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей/ За заг. ред. О.А. Гавриша.- Київ: НТУУ «КПІ», 2016.-28с.

Додатки