

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Інжинірингу машинобудівних технологій

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему:

Розроблення технології виготовлення

корпуса Е6.021-02.01.002 з дослідженням підвищення

стійкості фрез азотуванням

Виконав (ла): студент (ка) VI курсу, групи МПм-61
спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

Марищак М.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Комар Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Ткаченко І.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Марищаку Максиму Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення
корпуса Е6.021-02.01.002 з дослідженням підвищення
стійкості фрез азотуванням

Керівник роботи Комар Роман Васильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2024 року № 4/7-1096

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі, технічні умови на виготовлення;
річна програма випуску $N = 6000$ шт.; базовий технологічний процес виготовлення;
базова література по об'єкту дослідження

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналітична частина. Науково-дослідна частина.

Технологічно-конструкторська частина.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Результати наукових досліджень (2 арк. А1).

Складальні креслення пристроїв для механічної обробки (3 арк. А1).

Схеми інструментальних налагоджень на операції механічної обробки (2 арк. А1).

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 15 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Марищак М.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Комар Р.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Завдання на кваліфікаційну роботу	2
Реферат	4
Вступ	5
1 Аналітична частина	6
1.1 Інформативний аналіз тематики роботи	6
1.2 Способи вирішення виявлених проблем	12
1.3 Визначення завдань кваліфікаційної роботи	12
2 Науково-дослідна частина	14
2.1 Опис досліджуваного об'єкту	14
2.2 Оброблення інформації досліджень	20
2.3 Аналіз результатів та формування висновків досліджень	29
3 Технологічно-конструкторська частина	30
3.1 Службова характеристика об'єкту виробництва	30
3.2 Аналіз технологічності виробу і процесу його обробки	33
3.3 Вибір способу одержання заготовки	36
3.4 Вибір технологічних баз та маршруту оброблення деталі	38
3.5 Вибір режимів оброблення деталі та норм часу	42
3.6 Встановлення кількості обладнання	43
3.7 Розробка спеціальної оснастки	47
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	55
Висновки	61
Перелік посилань	62
Додатки	64

РЕФЕРАТ

Тема даної роботи: «Розроблення технології виготовлення корпусу Е6.021-02.01.002 з дослідженням підвищення стійкості фрез азотуванням».

Актуальність. У сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція до впровадження інноваційних високолегованих матеріалів, що дає змогу збільшити ресурс роботи виробу. Підвищена поверхнева твердість та міцність цих матеріалів значно ускладнюють процес механічної обробки. В результаті спостерігається посилений абразивний вплив на ріжучі інструменти, що призводить до збільшення швидкості їх зносу та зниження загального ресурсу. Ця обставина вимагає розробки спеціалізованих технологічних режимів обробки та застосування модифікованих різальних інструментів з підвищеною стійкістю до абразивного зношування.

Мета і завдання. Провести аналіз способів зміцнення інструментів для фрезерного оброблення та обґрунтування вибору комплексної обробки для підвищення їх стійкості; дослідити фізико-механічні характеристики зразків із швидкорізальної сталі після комплексної іонно-плазмової обробки із нанесенням захисного нітридного покриття.

Практичне значення. Встановлено вплив технологічних режимів азотування на міцність і адгезійну властивість зміцненого шару металу. Розроблено технологічний процес промислового виробництва корпусу Е6.021-02.01.002 з проробленням технологічних карт і додаткової документації.

Апробація. Результати дослідження опубліковані у матеріалах XIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 2024 р. [1].

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні спостерігається тенденція до впровадження інноваційних високолегованих матеріалів, що дає змогу збільшити ресурс роботи виробу. Підвищена поверхнева твердість та міцність цих матеріалів значно ускладнюють процес механічної обробки. В результаті спостерігається посилений абразивний вплив на ріжучі інструменти, що призводить до збільшення швидкості їх зносу та зниження загального ресурсу. Ця обставина вимагає розробки спеціалізованих технологічних режимів обробки та застосування модифікованих різальних інструментів з підвищеною стійкістю до абразивного зношування. Це своє чергу впливає на збільшення витрат на виготовлення деталі, враховуючи придбання нового ріжучого інструменту і навіть простої верстата через численні переналагоджування. Аналіз ринку показав, що приблизно 20% металорізального інструменту виготовляється із швидкорізальної сталі, оскільки вона здатна витримувати високі ударні навантаження. Однак при порівнянні швидкоріжучої сталі з твердосплавними аналогами можна помітити, що зносостійкість та швидкість різання інструментів із твердих сплавів вища.

Для вирішення цієї проблеми використовуються різні способи зміцнення інструментальних матеріалів. Найбільш перспективними є способи комбінованої обробки, що дозволяють поєднувати відомі методи зміцнення. Технологія комплексної іонно-плазмової обробки ріжучих інструментів є комбінованим процесом, що включає іонне азотування і нанесення захисного покриття в єдиному або розділеному вакуумному циклі. Такий підхід забезпечує значне підвищення мікротвердості та трибологічних характеристик робочої поверхні інструменту, що призводить до збільшення його ресурсу при обробці високолегованих сталей та сплавів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Інформативний аналіз тематики роботи

Існує безліч способів зміцнення металорізальних інструментів, які можна розділити на п'ять основних груп і розглядати окремо [2-7]: деформаційний вплив; термічний вплив; поверхневе легування; нанесення покриттів та комбінована обробка. Причому кожен окремо метод по-різному впливає на поверхневий шар інструменту. Деформаційна дія змінює геометрію інструменту. Поверхневе легування змінює структуру поверхні. Термічна дія також впливає на структуру поверхневого шару, а також за певних режимів може впливати на мікрогеометрію. Нанесення покриттів утворює тонку захисну плівку. Комбінований метод обробки дозволяє поєднувати перелічені вище варіації: наприклад, комплекс поверхневого легування і нанесення покриттів або термічний вплив і деформаційна обробка. Також можлива комбінація відразу трьох методів. Наприклад, термічний вплив, потім поверхневе легування та подальше нанесення покриття. Частка цих способів у сучасному машинобудуванні різниться й у приблизному вигляді представлена на рис.1.1.

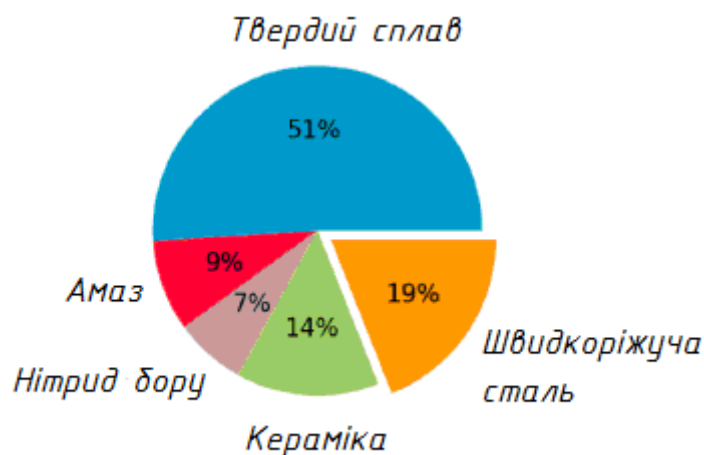


Рисунок 1.1 – Систематизація методів зміцнення інструменту

Найбільш використовувані ріжучі інструменти при обробці корпусних виробів – це фрези (кінцеві, циліндричні, черв'якові та ін), свердла, зенкера. Для

таких інструментів найбільш підходящими методами зміцнення можуть бути нанесення покриттів, хіміко-термічна обробка (зокрема іонне азотування), а також комбінація цих методів [3, 5, 6]. Метод поверхневого легування полягає в термодифузійному насиченні легуючим елементом поверхні металу, що піддається зміцненню. Найбільш поширеними у машинобудуванні способами поверхневого легування інструментів з є іонна імплантація, лазерне поверхнєве легування, електроімпульсне легування та хіміко-термічна обробка.

Метод іонної імплантації (або іонного легування) полягає у введенні легуючих елементів у поверхнєві шари металів шляхом використання іонних пучків. Легований шар формується під час бомбардування поверхні іонами легуючих елементів. Метод електроакустичного напилення-легування дозволяє вводити до складу зміцнюючої поверхні необхідні тугоплавкі хімічні елементи. Такий спосіб дозволив отримати модифіковані робочі поверхні інструментів зі збільшенням зносостійкості у 2-3 рази порівняно зі стандартним ріжучими інструментами [6].

Метод лазерного легування дозволяє нанести на поверхню металу легуючі добавки з одночасним впливом направленим лазерним променем. Особливості лазерно-легованих шарів: при значній твердості (понад 10 ГПа) покриття мають дуже низьку крихкість, особливо після повторного лазерного переплаву; теплова дія аж до 900°C не призводить до укрупнення елементів структури та значного розміцнення; крім високої зносостійкості покриття мають задовільну корозійну стійкість.

Проте найбільшого поширення набули методи хіміко-термічної обробки. Такі методи як азотування, цементация, ціанування найчастіше використовуються збільшення зносостійкості фрез із швидкоріжучих сталей. Відповідно азотування інструментальних сталей підвищує поверхнєву твердість та зносостійкість різальних інструментів. Наприклад, азотування при 520°C протягом 6 год. дозволяє отримати на швидкоріжучій сталі марки P18 шар товщиною 0,04-0,05 мм. Також стійкість азотованих свердл на 30% вище, ніж ціанованих. Ріжучі пластини із швидкоріжучої сталі після іонного

азотування мають твердість 1000-1250 HV (одиниць за Віккерсом). Також встановлено підвищення терміну служби виробу з P18 в 5 разів після іонного азотування при 500-520 °C протягом 30 хвилин [5, 8].

Зразки ріжучих пластин P6M5 піддавали впливу іонного азотування з магнітним полем при $T = 500^{\circ}\text{C}$, тиску $P = 44$ Па протягом 4 годин. Експериментально встановлено, що обробка при даних режимах призводить до збільшення мікротвердості поверхні сталі обумовленої формуванням нітридних фаз у приповерхневому шарі з більш високим процентним вмістом азоту, а також призводить до утворення модифікованого поверхневого шару. Також використання магнітного поля дозволило збільшити товщину одержуваних шарів в 5-6 разів для P6M5. Ріжучі властивості при іонному азотуванні при температурі 350°C кращі, ніж при температурі 500°C через підвищення крихкості із температурою процесу.

Як видно із рис. 1.1 у сучасному машинобудуванні частка комбінованої обробки становить лише 2%. Сутність такої обробки полягає у поєднанні двох або більше методів, що в кінцевому підсумку дозволяє підвищити різні характеристики ріжучого інструменту. Комбінована обробка може здійснюватися за двома варіантами: попередня зміцнювальна обробка з подальшим нанесенням зносостійкого покриття та зворотна технологія - нанесення покриття з подальшою зміцнювальною поверхнею обробкою.

Найбільш поширеною методикою проведення комбінованої обробки є система «підкладка-поверхнєве легування-покриття» за рахунок збільшення адгезійної міцності. Після лазерної обробки електроіскрового легування покриття поверхні інструменту утворюється зона оплавлення, в якій розчиняються компоненти вихідного покриття. Визначено, що лазерне легування сприяє збереженню різальних властивостей інструменту за більш високих температур, що дає можливість збільшити швидкість різання. Така комбінована обробка дозволяє збільшити ресурс роботи інструменту в 2-3 рази, на відміну обробки лише електроіскровим легуванням (в 1,3-1,4 рази).

Найбільш поширений метод комбінованої обробки - іонне азотування та подальше нанесення зносостійкого покриття TiN, після якого наноситься шар перфлуорополіестера. Така потрібна обробка дозволила зменшити коефіцієнт тертя, що призвело до збільшення ресурсу роботи ріжучого інструменту. Товщина покриттів становила 1 і 2 мкм при напругах зсувів 75 і 150 В. Результати демонструють, що сформований верхній шар TiN-FeV забезпечує твердість в очікуваному діапазоні (близько 2500 HV) і ніякої несумісності з боридним шаром не спостерігається. Комбінована обробка довела свою ефективність при виробництві шарів з високою твердістю та зносостійкістю. Відомо, що обробка боридом дозволяє отримувати покриття з високими експлуатаційними характеристиками, але шар TiN здатний покращити властивості [9].

Як показують результати розглянутих вище досліджень, зміцнення комбінованої обробки сприяє поліпшенню фізико-механічних властивостей. Особливою популярністю користуються методи з використанням іонної імплантації. Однак цей метод має свої мінуси. До основних недоліків відносяться: необхідність відпалу, складність відтворюваного легування шарів завтовшки більше 1 мкм, складність однорідного легування пластин великого діаметра через розфокусування променя при великих відхиленнях, складність обладнання.

Найбільшого поширення серед комбінованих методів набула система «іонне азотування + покриття». Така структура забезпечує найкращий перехід від покриття до підкладки. До того ж, на відміну від багатьох інших методів комбінованої обробки, можна проводити обробку в єдиному вакуумному циклі.

У різних джерелах літератури використовують різні режими для такої комбінованої обробки. В англomовній літературі такий процес називають дуплексною обробкою (від англ. duplex surface treatment), що означає подвійне оброблення поверхні. Українською мовою це можна перекласти як комплексна іонно-плазмова обробка. Цей термін включає послідовне застосування двох або більше поверхневих технологій для отримання шаруватого композиту з

комбінацією властивостей, які неможливо отримати застосуванням будь-якої з цих технологій окремо. Крім швидкоріжучих сталей також розглядаються інші інструментальні сталі, наприклад, штампові. Такі матеріали мають схожі з швидкоріжучими параметри, тому можлива їхня обробка в схожих режимах.

Азотування проводили при тиску 6 МПа протягом 4 годин із сумішшю газів Ar/H_2 у співвідношенні 4:1. Коефіцієнт заповнення змінювався від 0,1 до 0,9 з кроком 0,2. Крім того, проводилися дослідження при постійному струмі. Як захисний шар використовувалися алмазоподібні покриття. За результатами було встановлено, що глибина азотування залежить від коефіцієнта заповнення - чим він більший, тим більша глибина (рис. 1.2). Шорсткість обробки поверхні була приблизно такою самою, як і у поверхні з азотуванням. Найкращу шорсткість показали зразки з коефіцієнтом заповнення 0,1. Міцність адгезії збільшилася із збільшенням шорсткості поверхні при комплексній іонно-плазмовій обробці.

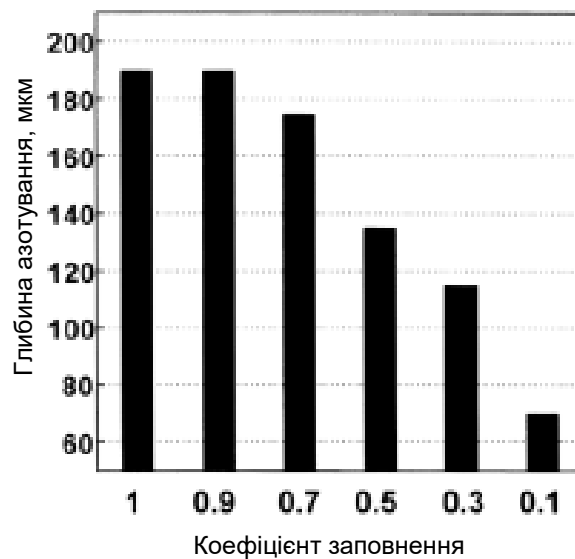


Рисунок 1.2 – Залежність впливу коефіцієнта заповнення на глибину азотування

Результати досліджень [9] показали, що мікротвердість підвищується зі збільшенням часу при 25% азоту суміші. Але адгезійна міцність збільшується лише до часу азотування в 1:00, а після цього йде зниження (рис. 1.3).

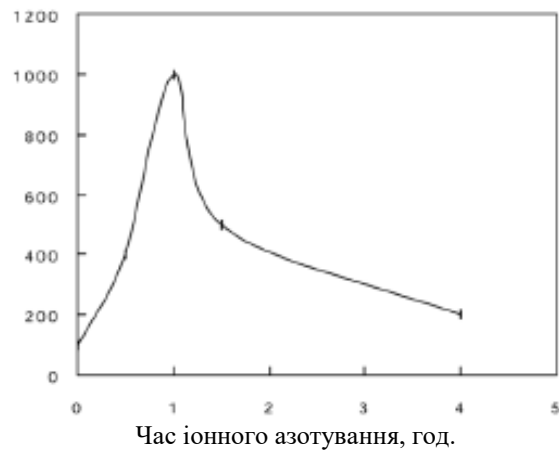


Рисунок 1.3 – Адгезійна міцність покриття TiN на азотованих зразках швидкоріжучої сталі при суміші газів $N_2/(H_2+N_2) = 25\%$

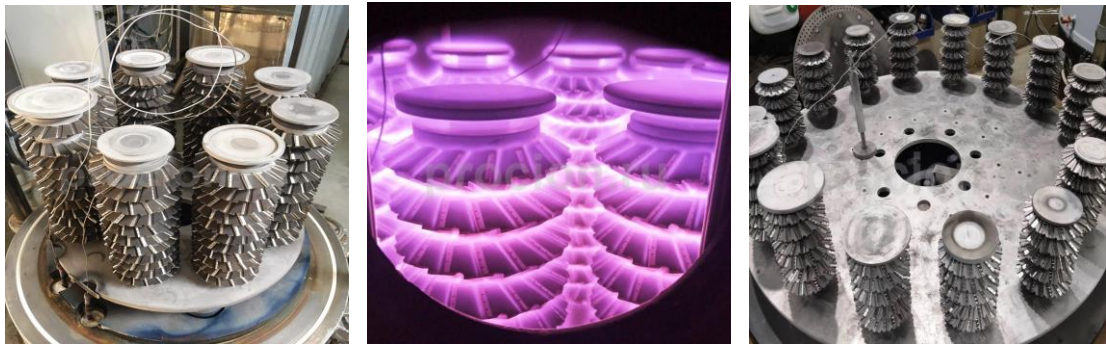


Рисунок 1.3 – Послідовність азотування фрез

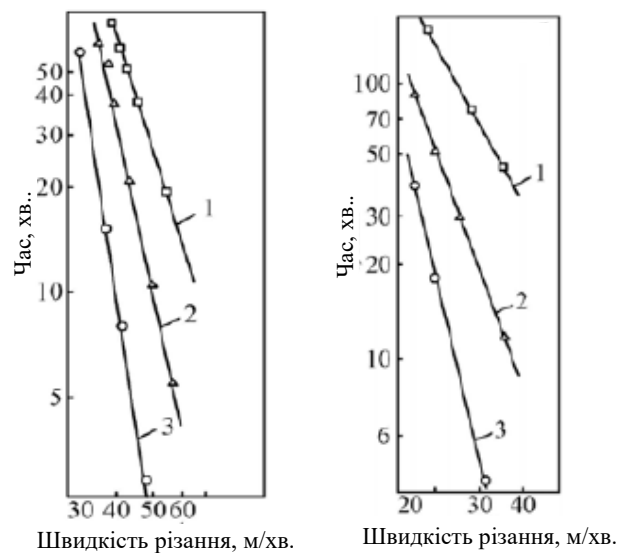


Рисунок 1.4 – Вплив швидкості різання на стійкість ріжучих пластин із швидкоріжучої сталі:

- а) точіння сталі 45 – 1) азотування+ TiN; 2) азотування; 3) без обробки;
- б) фрезерування сталі 40X – 1) азотування+ TiN; 2) азотування; 3) без обробки.

1.2 Способи вирішення виявлених проблем

Аналітичні дослідження способів зміцнення металорізальних інструментів із швидкорізальної сталі показали широку варіативність методів модифікації поверхні. Встановлено, що метод комплексної іонно-плазмової обробки, що поєднує в собі іонне азотування та подальше нанесення захисного покриття, забезпечує підвищення якості поверхневого шару та ресурсу роботи інструменту.

Аналіз методів комплексної іонно-плазмової обробки показав, що обробка в єдиному вакуумному циклі забезпечує необхідну адгезію і виключає необхідність механічної обробки між двома послідовними операціями в технологічному процесі.

Аналіз структури та властивостей покриттів, що застосовуються для зміцнення металорізальних інструментів, показав, що покриття на основі TiAlN та TiN показують найвищі фізико-механічні характеристики для осьового металорізального інструменту.

1.3 Визначення завдань кваліфікаційної роботи

Для розкриття теми кваліфікаційної роботи магістра і виконання її завдань необхідно:

1. Підібрати методики вимірювання глибини азотованого шару; визначення зносостійкості поверхні; визначення адгезійної міцності; визначення товщини азотованого покриття.

2. Згідно із попередньо наведеною інформацією комплексна іонно-плазмова обробка збільшує ресурс роботи фрез зі швидкорізальної сталі. Тому слід досліджувати вплив режимів азотування на фізико-механічні властивості поверхні після проведення комплексної іонно-плазмової обробки.

3. Провести аналітичні дослідження методу комплексної іонно-плазмової обробки, що поєднує в собі іонне азотування та подальше нанесення захисного покриття і встановити забезпечення підвищення якості поверхневого шару та ресурсу роботи інструменту.

4. Проаналізувати метод комплексної іонно-плазмової обробки на рахунок забезпечення необхідної адгезії азотованого шару і виключення необхідності механічної обробки між двома послідовними операціями в технологічному процесі.

5. Встановити вплив технологічних режимів азотування на міцність і адгезійну властивість зміцненого шару фрези із швидкорізальної сталі.

6. Спроекувати і розробити технологічний процес промислового виробництва корпусу E6.021-02.01.002, з проробленням технологічних карт і додаткової документації.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Опис досліджуваного об'єкту

Об'єктом дослідження є фрези із швидкоріжучої сталі, зміцненої методом комплексної іонно-плазмової обробки, що поєднує в собі іонне азотування та подальше нанесення захисного покриття. Режими зміцнення реалізовувалися за 4-а різними технологіями умовно позначеними R1, R2, R3, R4. Технології відрізнялися значеннями напруги U , струму плазмового джерела I , коефіцієнта вмісту азоту в газовій суміші k і температурою процесу T . Значення цих параметрів для кожної із технологій наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технологічні режими азотування

Технологія	U , В	I , А	k	T , °С
R1	400	40	0,5	315
R2	600	30	0,3	400
R3	550	50	0,5	475
R4	450	20	0,3	240

Для кожної вищезгаданої технології були проведені виміри глибини за різного часу азотування: 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150 і 180 хвилин.

Перед проведенням експериментів зразки з Р6М5 у формі сектора з радіусом 15 мм і кутом 90° пройшли термообробку, що складається з гартування при температурі 1280°C і триразового відпуску при температурі 560°C . Після термообробки зразки шліфували до шорсткості $R_a\ 0,025\ \mu\text{m}$. Шорсткість вимірювалася по 3 рази на кожному зразку, після чого використовувалося середнє арифметичне значення.

Іонне азотування проводилося з регулюванням значень струму розряду, негативної напруги усунення та складу газу. У процесі обробки зразки

розташовувалися з відривом 15 см від центру столу. Стіл обертався зі швидкістю 1 об/хв. Перед проведенням іонного азотування зразки пройшли іонне очищення в середовищі інертного газу аргону протягом 30 хвилин і чистку електродуговими випарниками протягом 3 хвилин. Тиск у камері при іонному азотуванні становив 0,3-0,5 Па.

Подальше нанесення покриття при комплексній іонно-плазмовій обробці проводилося відразу після закінчення процесу азотування. В дослідженні брали участь 2 типи покриття: одношарове покриття TiN та багатшарове покриття TiAl/TiAlN. Покриття TiN проводилося одночасним випаром титанових катодів протягом 90 хвилин зі струмом дугових випарників 90 А та напрузі зміщення на підкладці 180 В. Покриття TiAl/TiAlN наносилося одночасним випаровуванням титанового і алюмінієвого катода. Перед нанесенням обох типів покриттів наносився титановий підшар протягом 5 хвилин. Тиск у камері в процесі нанесення покриттів зберігався незмінним і становив 0,3-0,5 Па. Подібно до технології іонного азотування, швидкість обертання робочого столу становила 1 об/хв. Як катоди в електродугових випарниках використовували технічний титан марки ВТ1-00 та АД000.

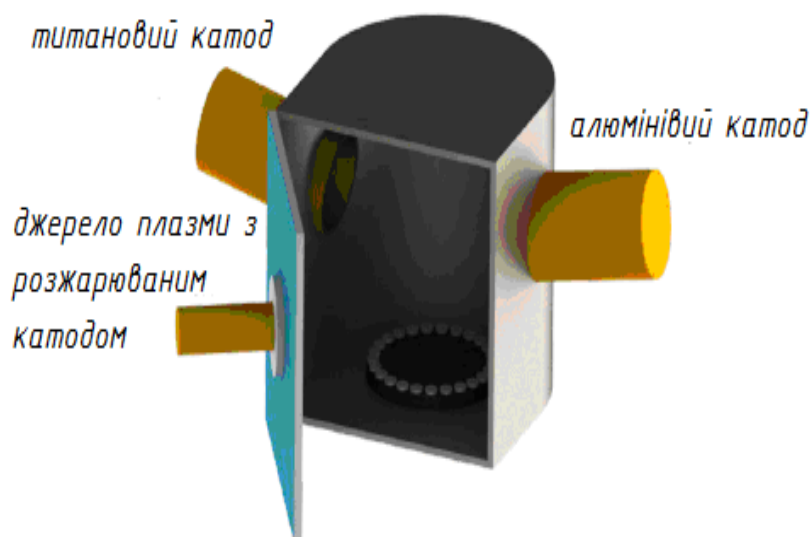


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд установки для комплексної іонно-плазмової обробки

Таблиця 2.2 – Розрахункові значення глибин дифузійного шару

Технологія	Час азотування, хв.	Розрахункова глибина шару, мкм
R1	15	9,2
	30	18,9
	60	28,5
	120	38,1
	180	43,8
R2	15	9,3
	30	28,1
	60	46,9
	120	65,5
	180	76,6
R3	15	14,9
	30	35,8
	60	56,6
	120	77,5
	180	89,7
R4	15	0
	30	9,8
	60	20,6
	120	30,5
	180	36,2

Методика вимірювання мікротвердості поверхні. Вимірювання мікротвердості поверхні проводиться на мікротвердомірі і визначається методом Віккерса. Суть методу полягає у втисканні у випробуваний зразок алмазного пірамідоподібного індентора з кутом $\alpha = 136^\circ$ між протилежними гранями та обчислення за формулою

$$HV = \frac{2P \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{d^2},$$

де P – навантаження, Н;

d – середнє арифметичне значення довжин діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.

Дослідження проводять при навантаженні 0,49 Н з часом витримки 10 сек. Підсумкові значення приймаються, як середнє арифметичне із 5 вимірювань.

Методика вимірювання глибини азотованого шару. Глибина азотованого шару вимірюється методом вимірювання мікротвердості по глибині з кроком 10 мкм. Для проведення таких досліджень необхідні шліфи з площиною, виконаними під кутом $5,74^\circ$ до досліджуваного шару (рис. 2.2). Ширина зрізу за такого нахилу збільшується вдесятеро.

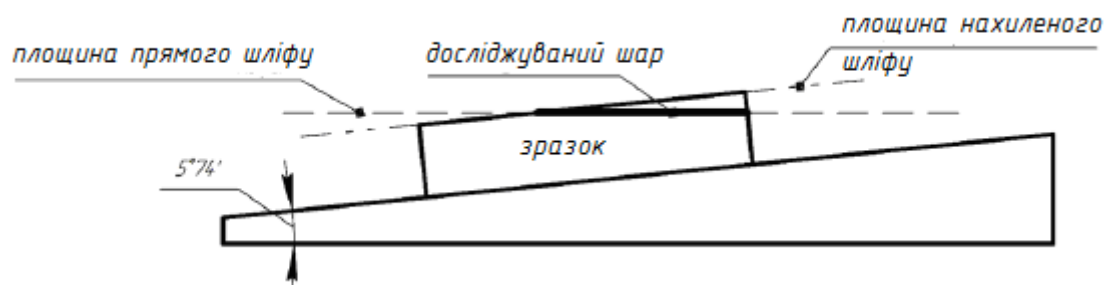


Рисунок 2.2 – Схема отримання похилого шліфу

Методика визначення зносостійкості поверхні. Дослідження трибологічних характеристик доцільно проводити за стандартною методикою «куля по диску» (рис. 2.3). Кількісний знос визначається автоматично, використовуючи зміни у розмірах кулі та диска до початку та після закінчення тестування. Існує три можливі типи зносу:

- куля зношується, диск не зношується;
- диск зношується, куля не зношується;
- куля і диск зношуються.

Кулька з твердого сплаву діаметром 3 мм притискається з постійним зусиллям 4 Н зі швидкістю обертання зразка 120 об./хв. Для отримання результатів необхідно, щоб сумарно куля пройшла шлях біля 11000-11500 мм із середньою швидкістю 188,5 мм/хв. Значення зносостійкості оцінюється за питомою швидкістю зносу.

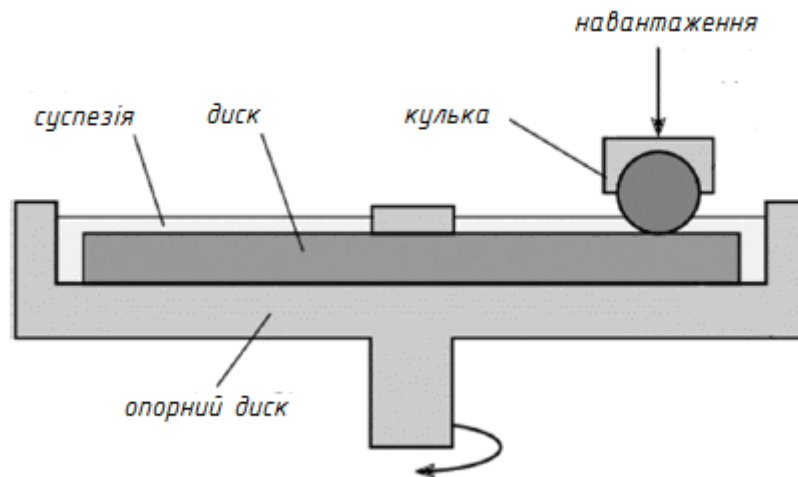


Рисунок 2.3 – Схема випробовування за методикою «кулька по диску»

Методика визначення адгезійної міцності. Визначення адгезійної міцності проводиться склерометричним методом.

Склерометрія (дряпання на мікро-наномасштабному рівні (англ. micro/nanoscale scratching)) – процес вимірювання твердості методами дряпання (формування мікроканалов) різних матеріалів та покриттів при впровадженні індентора на глибину кількох мікро- або нанометрів.

Для проведення дослідження використовується метод динамічного індентування, при якому індентор переміщується по поверхні зразка, що досліджується, на задану відстань зі статичним або динамічним навантаженням (рис. 2.4). При цьому утворюється подряпина, через яку можна аналітично визначити характер руйнування.

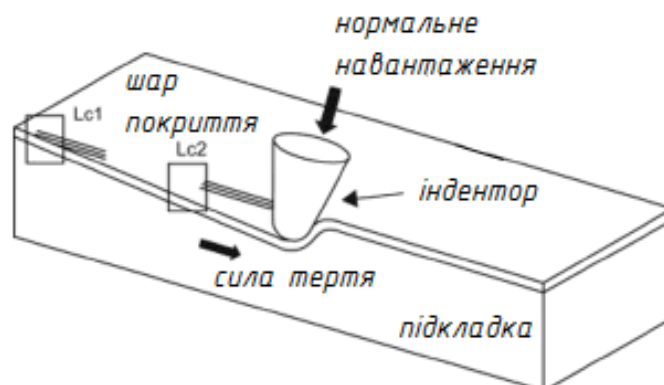


Рисунок 2.4 – Схема проведення дослідження методом склометрії

Випробування проводиться з такими режимами:

- індентор: алмазний з радіусом 20 мкм;
- навантаження: початкове навантаження: 0,03 Н; кінцеве – 30 Н;
- довжина подряпин: 5 мм;
- швидкість подряпин: 5 мм/хв.

На основі одержаних результатів розраховуються адгезійні параметри. Напруження (σ_{ind} , МПа), що виникає на інденторі в момент руйнування розраховували за формулою

$$\sigma_{ind} = \frac{L_C}{\pi \cdot P_d} \cdot 2R_{ind} - P_d,$$

де R_{ind} - радіус індентора, мкм;

P_d - глибина проникнення індентора в матеріал, мкм.

Величина максимальної напруги на інденторі характеризує міцність покриття при його пружнопластичному деформуванні, здатність чинити опір руйнуванню під дією зовнішнього нормального навантаження.

Коефіцієнт пружного відновлення матеріалу покриття (%) розраховувався за формулою

$$W_e = \frac{P_d - R_d}{P_d}.$$

Величина максимальної напруги на датчику характеризує міцність покриття при його пружнопластичному деформуванні, здатність чинити опір руйнуванню під дією зовнішнього нормального навантаження.

Методика вимірювання товщини покриття. Товщина покриття, яке наноситься визначається за схемою показаною на рисунку 2.5. У процесі випробувань застосовується суспензія із зернистістю 0,05 мкм.

Принцип виміру складається з трьох етапів:

- 1) Куля з діаметром D встановлюється на поверхні покриття.
- 2) При постійному контакті між кулею і досліджуваним зразком додається алмазна суспензія для утворення лунки.

3) Проводиться оптичне дослідження лунки для розрахунку товщини покриття або його шарів.

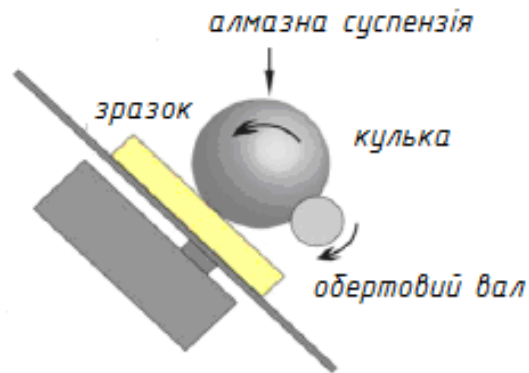


Рисунок 2.5 – Методика отримання лунки

2.2 Оброблення інформації досліджень

Оскільки збільшення часу азотування та її глибини не лінійно впливає на збільшення фізико-механічних характеристик поверхні необхідно детальніше вивчити вплив глибини азотованого шару на властивості поверхні після комплексної іонно-плазмової обробки. Для цього на обраних технологічних режимах, для значень часу в 15, 30, 60, 120 і 180 хвилин, були проведені дослідження шарів з азотуванням і подальшим нанесенням покриття. Дослідження стосувалися умовних технологій азотування з тимчасовими режимами згідно таблиці 2.2.

За результатами видно, що зі збільшенням часу азотування мікротвердість поверхні також зростає. Це підвищенням концентрації азоту в поверхневому шарі. Однак надмірно висока мікротвердість може спричинити крихкість поверхні, що позначиться на її адгезійних властивостях. Більш того, можна помітити, що технології з вищими температурами мають більш високу мікротвердість (технології R2 та R3). Азотування тривалістю 15 хвилин не збільшує мікротвердість порівняно з необробленим зразком. Також азотування при температурі 240°C практично не впливає на значення мікротвердості.

Виходячи з вищесказаного можна констатувати, що доцільно застосувати технології R2 і R3, але для отримання залежності технологічних режимів на міцність адгезійну покриття необхідно провести відповідні випробування.

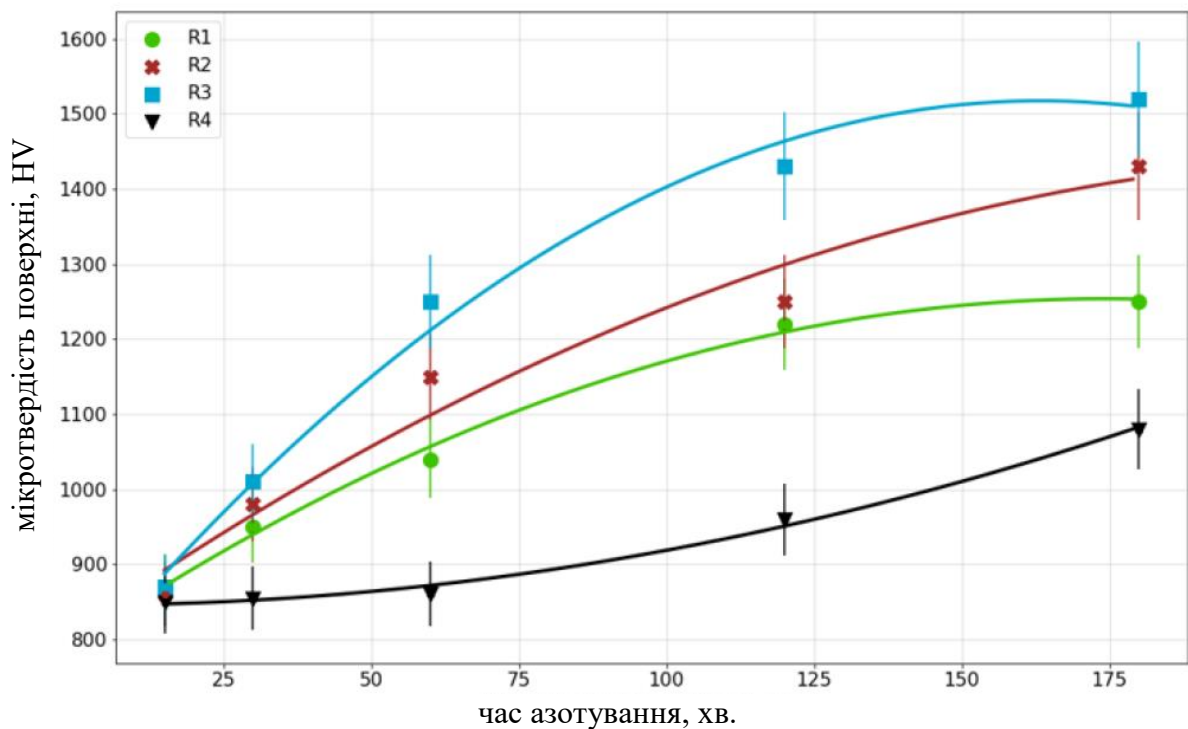


Рисунок 2.6 – Мікротвердість поверхонь згідно застосовуваних технологій азотування

З розрахунків склерометричних показників видно, що зі збільшенням тривалості азотування збільшується критичне навантаження руйнування покриття. Проте з результатів коефіцієнта пружного відновлення We видно, що більш тривалих режимів пружне відновлення після зняття навантаження становить приблизно 30-40%. а для покриття часу 30-60 хвилин близько 50-60%. Аналіз впливу тривалості іонного азотування на фізико-механічні властивості поверхні показав, що зі збільшенням часу властивості змінюються нелінійно. Оскільки триваліший процес іонного азотування істотно впливає на крихкість поверхні, адгезійні властивості у разі погіршуються.

За результатами літературного аналізу було визначено, що найкращу стійкість мають зразки з глибиною азотованого шару в 40 мкм [10].

Так, для технології R2 час азотування для досягнення дифузійного шару 40 мкм становить 47 хвилин, а для технології R3 - 35 хвилин. Для верифікації отриманих даних було проведено графічне дослідження мікротвердості за глибиною азотованого шару.

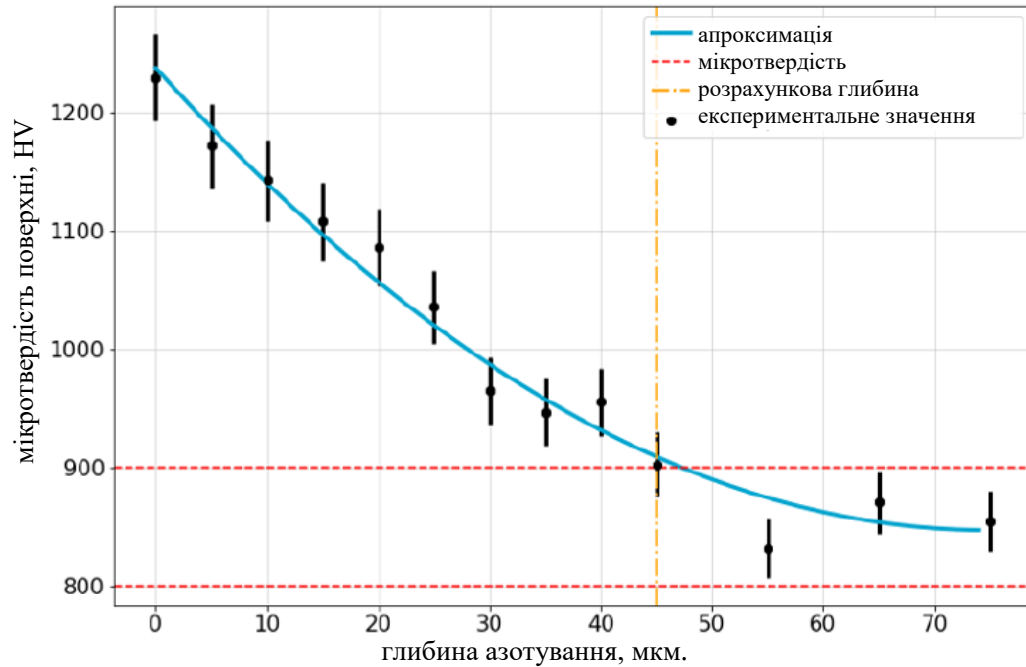


Рисунок 2.7 – Значення мікротвердості при: $T = 400^{\circ}\text{C}$, $t = 47$ хв.

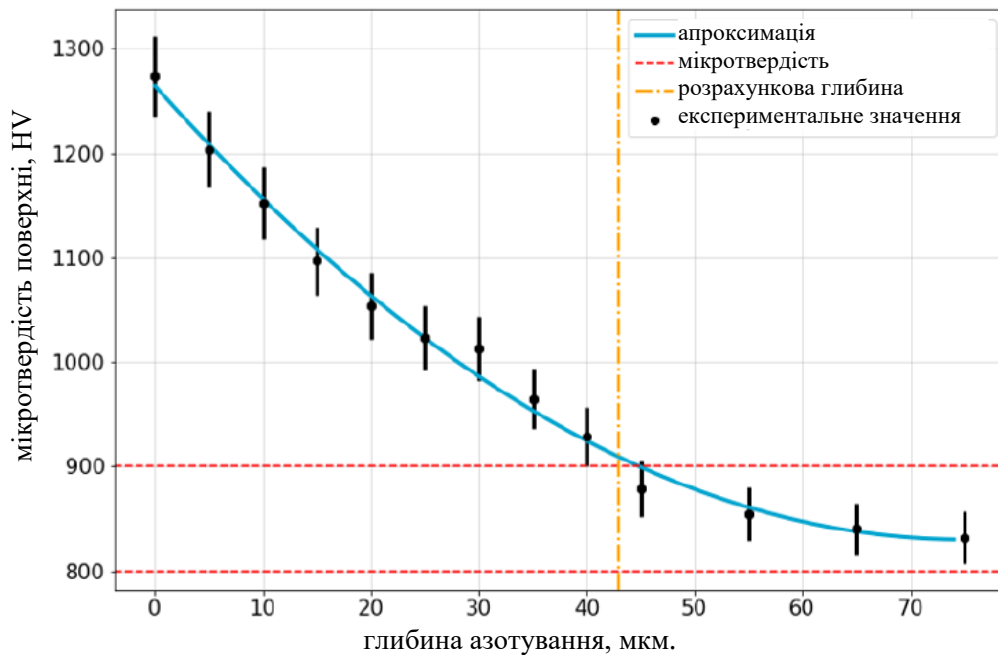


Рисунок 2.8 – Значення мікротвердості при: $T = 475^{\circ}\text{C}$, $t = 35$ хв.

Результати показують, що глибина азотування для зразків, оброблених при $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 47\text{ хв.}$ (надалі технологія далі A1) становить 45 мкм, а для зразків, оброблених при $T = 475\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 35\text{ хв.}$ (надалі технологія A2) - 43 мкм. Поверхнева мікротвердість для технологій A1 та A2 склала відповідно 1230 та 1272 HV (одиниць твердості за Віккерсом).

Для дослідження адгезійних властивостей покриттів було проаналізовано результати склерометричних випробувань.

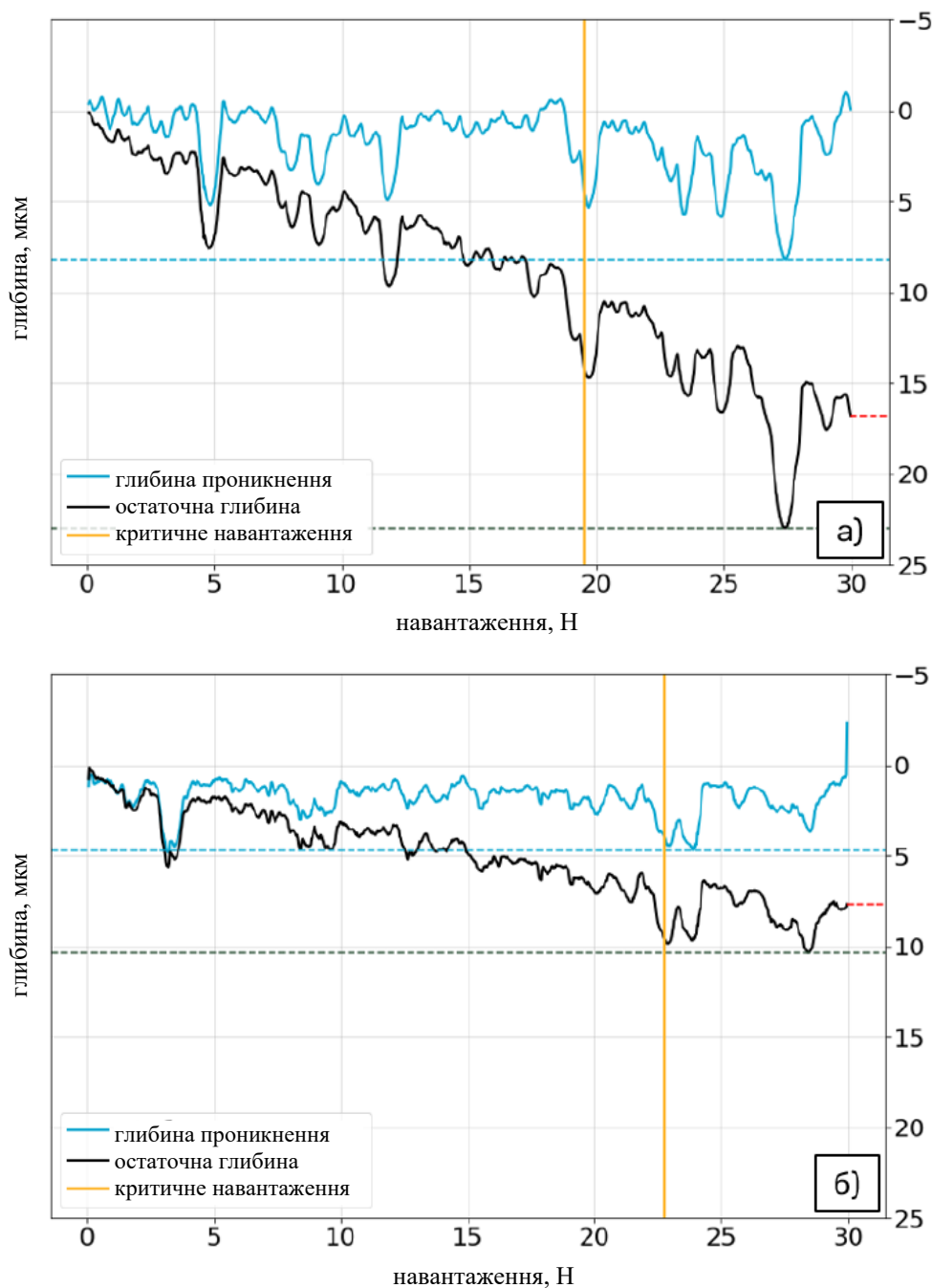


Рисунок 2.9 – Результати склерометричних випробувань:
а) технологія A1; б) технологія A2.

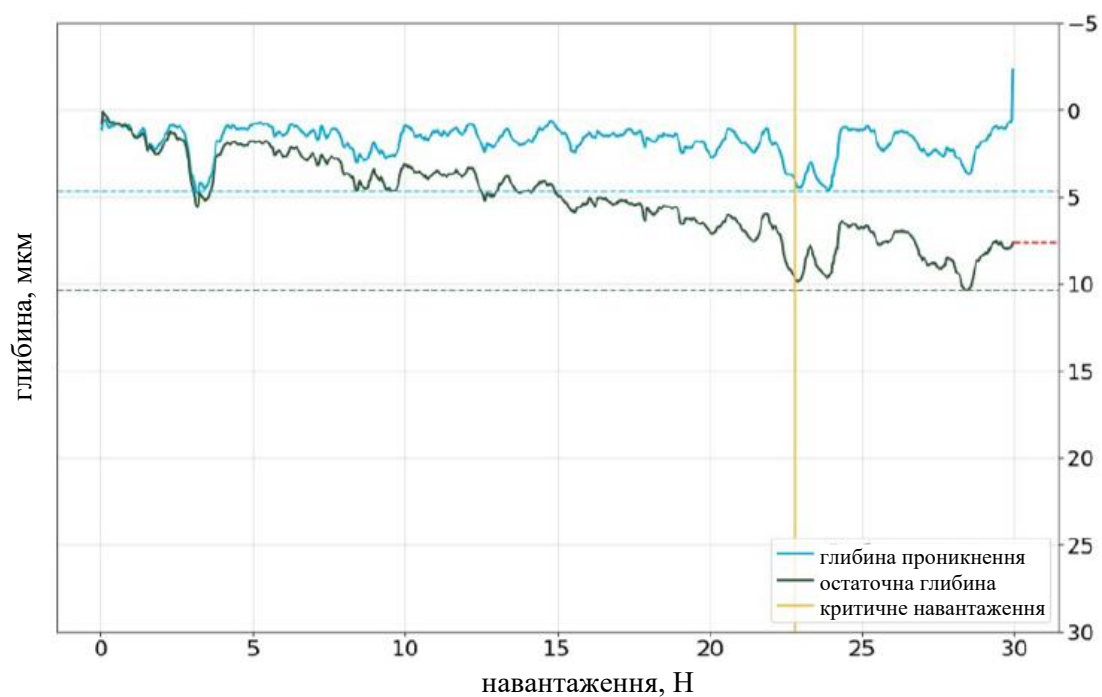


Рисунок 2.10 – Результати склометричних випробувань технології $N_2+TiAlN$ (азотування з наступним покриттям титан-алюміній нітрид)

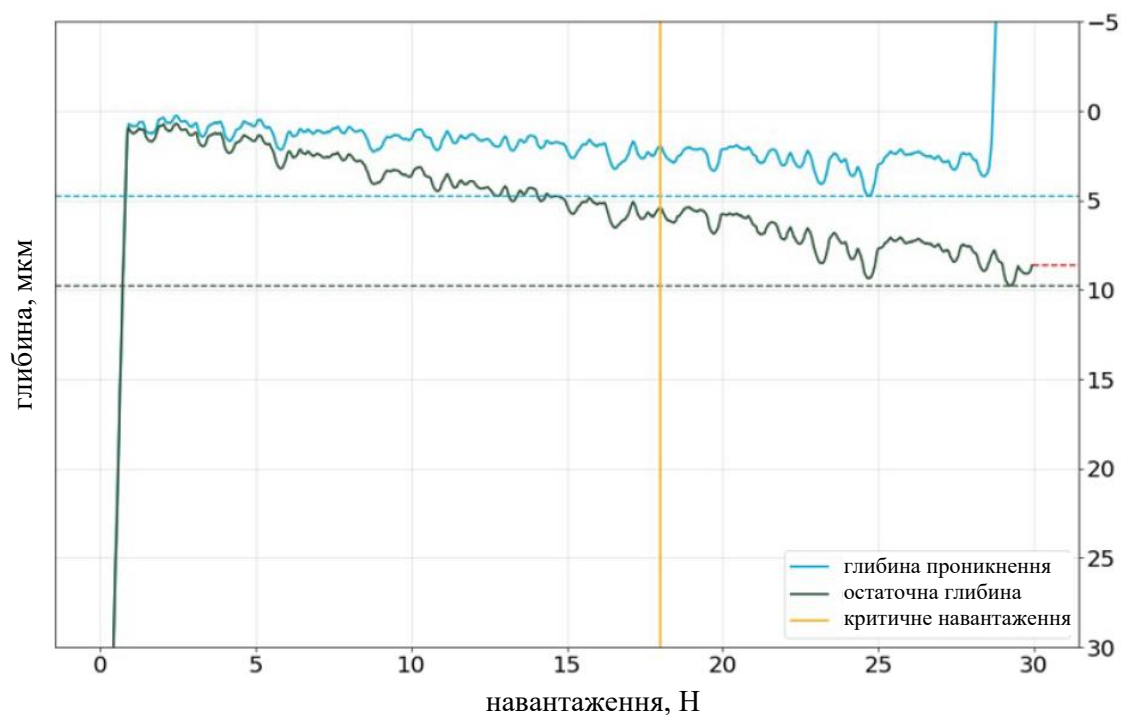


Рисунок 2.11 – Результати склометричних випробувань технології $TiAlN$ (покриття титан-алюміній нітрид)

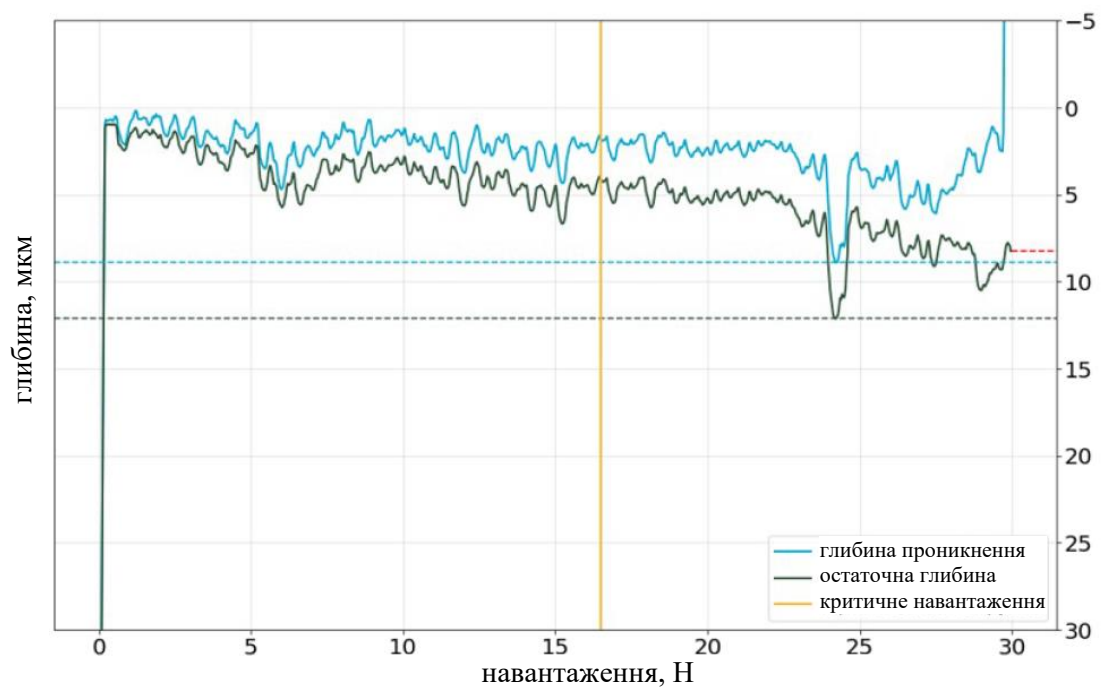


Рисунок 2.12 – Результати склометричних випробувань технології N_2+TiN
(азотування з наступним покриттям нітрид титану)

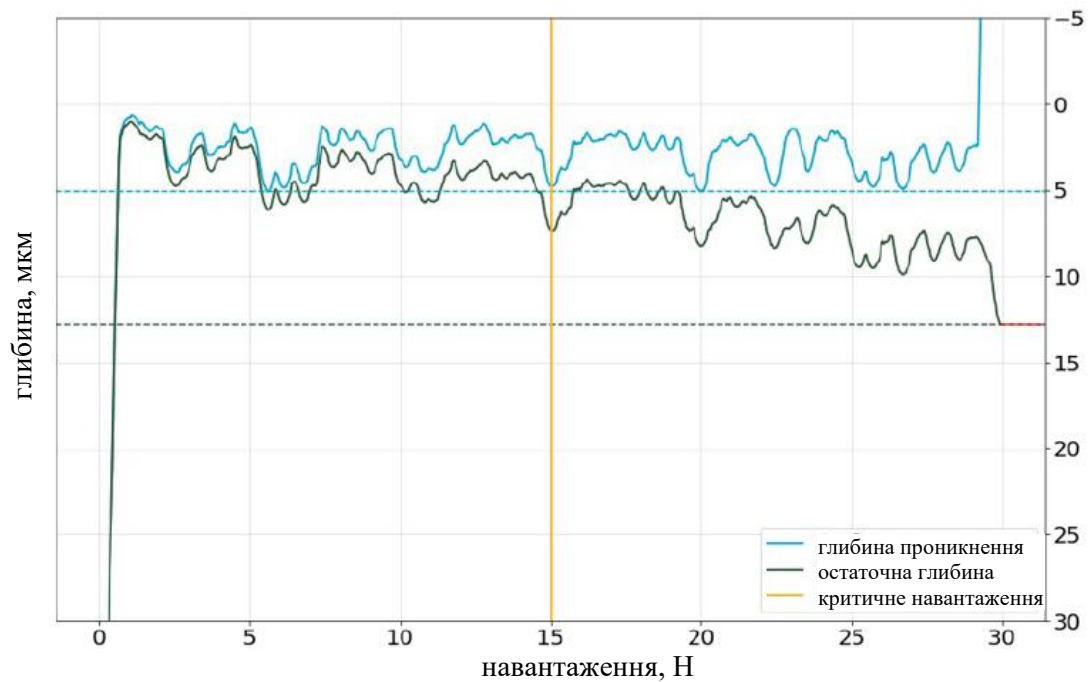


Рисунок 2.13 – Результати склометричних випробувань технології TiN
(покриття нітрид титану)

З отриманих результатів видно, що ці типи покриттів мають схожий графік зміни глибини індентора при деформуванні і після пружного відновлення покриття (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Кількісні результати склометричних випробувань

Технологія	Lc, Н	F _{nmax} , Н	F _{n30} , мкМ	We, %
N ₂ +TiAlN	22,8	10,4	7,7	54,6
TiAlN	18	9,78	8,63	51,62
N ₂ +TiN	16,5	12,1	8,24	26,6
TiN	15	12,8	12,8	36,2

Аналіз результатів показав, що застосування комплексної іонно-плазмової обробки збільшує критичне навантаження: для багат шарового покриття з 18 до 22,8 Н та для одношарового з 15 до 16,5 Н. Це пояснюється збільшенням поверхневої мікротвердості одношарового TiN покриття з 1600-1700 HV до 2100-2250 HV при багат шаровому TiAl/TiAlN покритті.

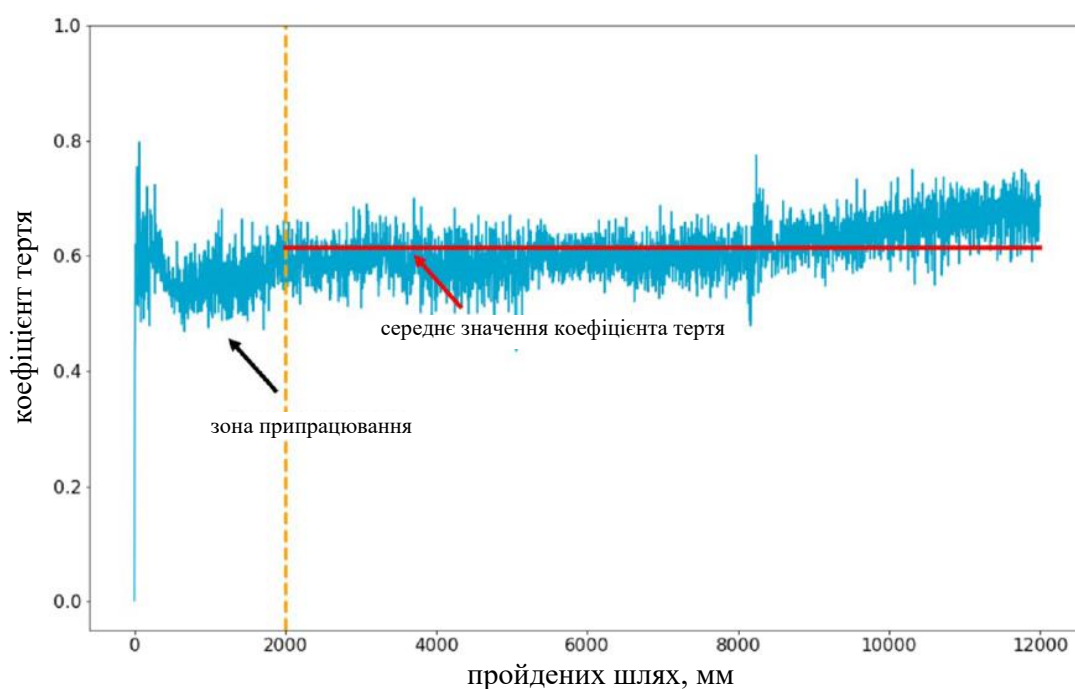


Рисунок 2.14 – Результат трибологічних випробувань технології
N₂+TiAlN

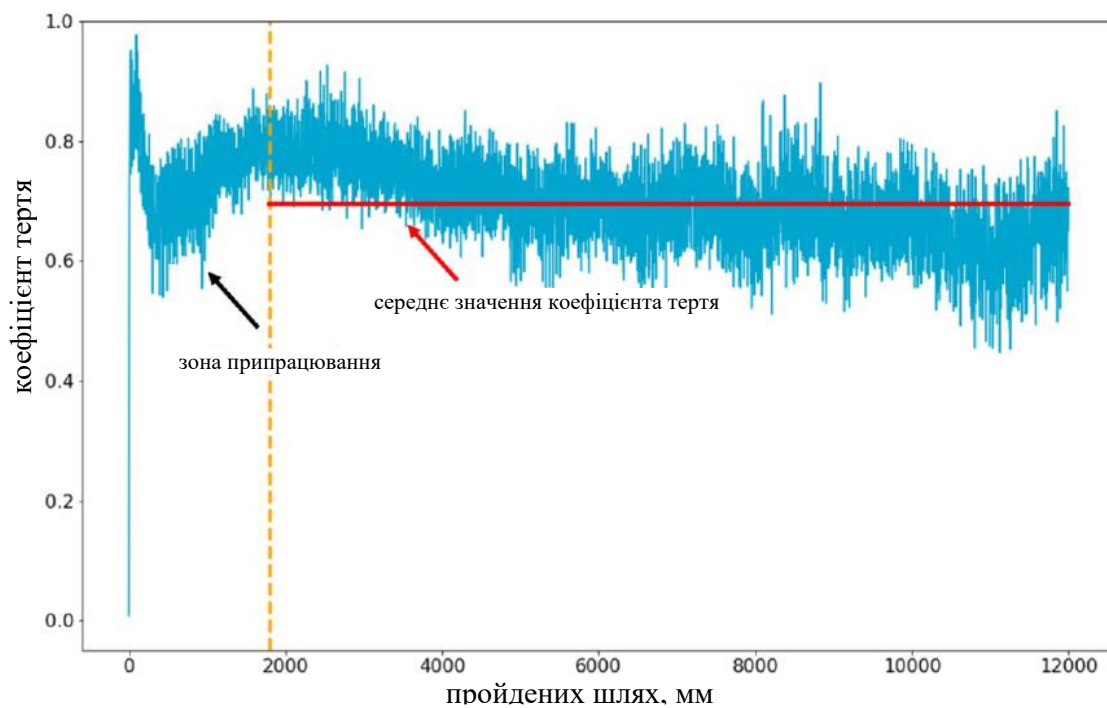


Рисунок 2.15 – Результат трибологічних випробовувань технології TiAlN

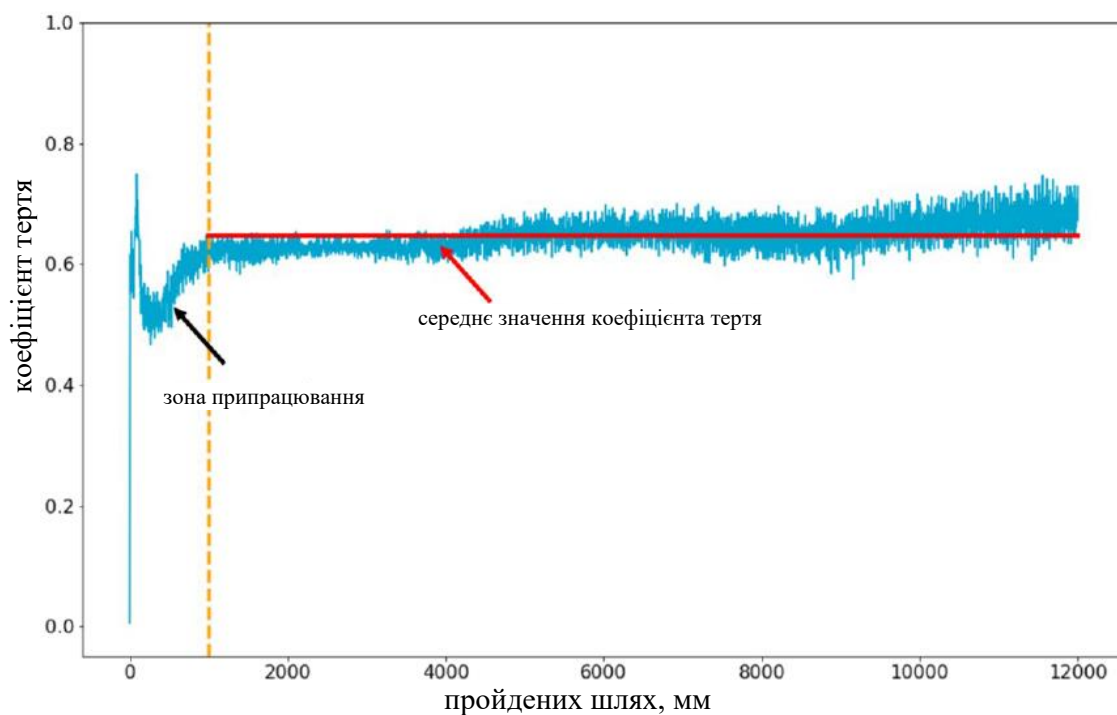


Рисунок 2.16 – Результат трибологічних випробовувань технології
N₂+TiN

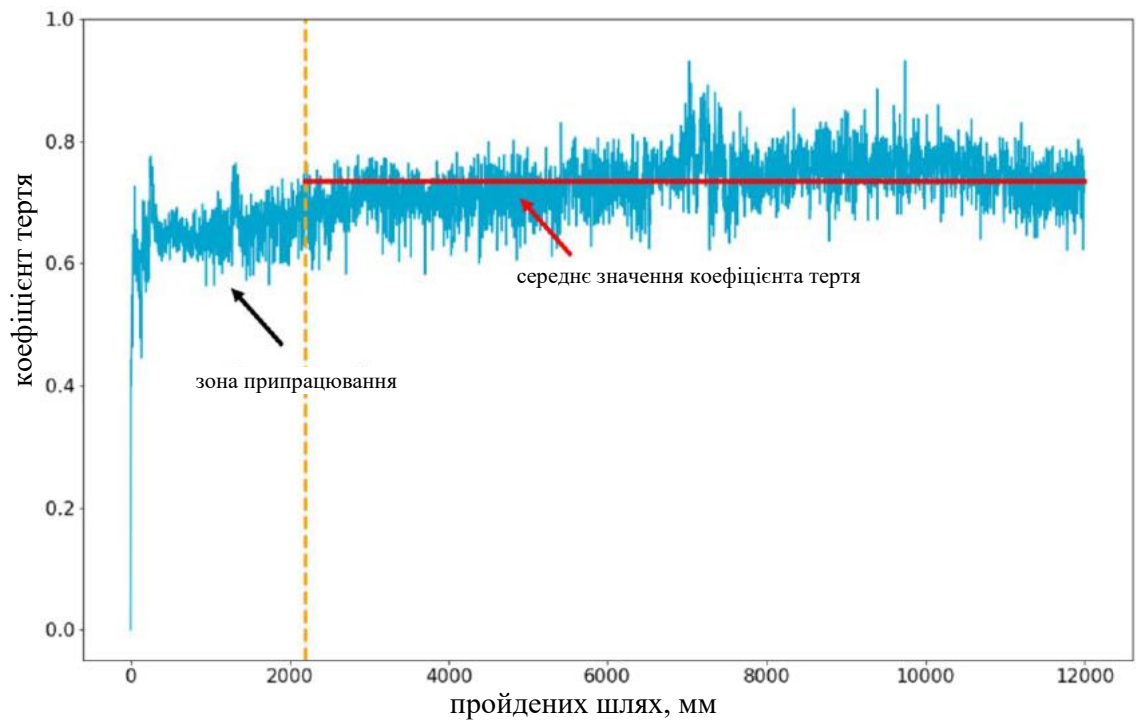


Рисунок 2.17 – Результат трибологічних випробовувань технології TiN

Зміна коефіцієнта тертя свідчить про те, що в моменті тертя поверхні з кулькою на кульку відбувається налипання покриття. У такому випадку, тертя відбувається не між кулькою і покриттям, а між матеріалом покриття, що налип на кульку і самим покриття. Відповідно шорсткість стає вищою, ніж у матеріалу кульки (твердий сплав), змінюється пара тертя та умови роботи.

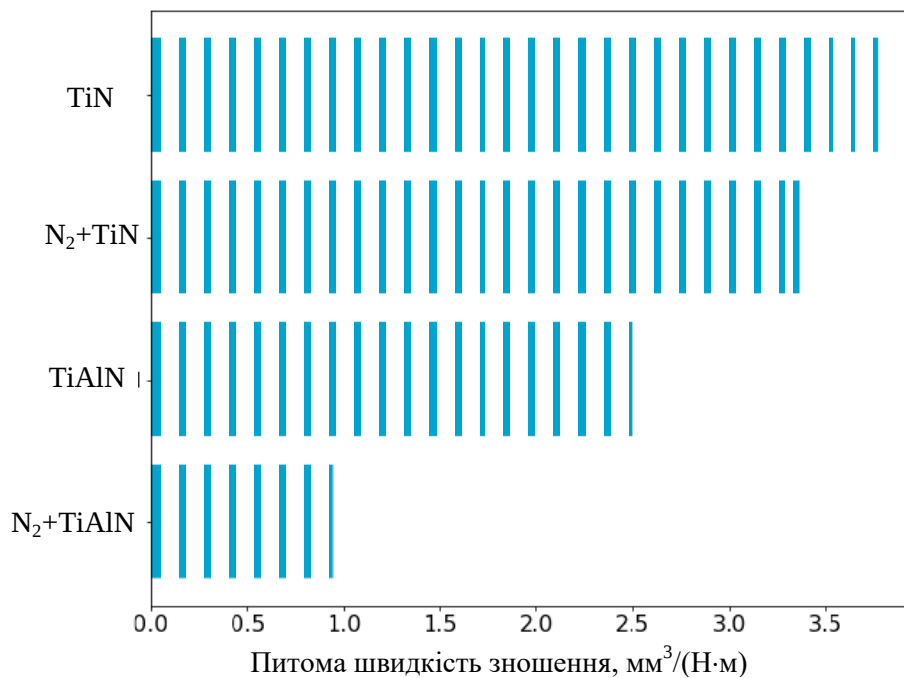


Рисунок 2.18 – Порівняльна інтенсивність зношення

2.3 Аналіз результатів та формування висновків досліджень

1. Попереднє іонне азотування при комплексній іонно-плазмовій обробці з одношаровим покриттям TiN дозволяє збільшити критичне навантаження адгезійного руйнування з 15 до 16,5 Н; з багатошаровим покриттям TiAl/TiAlN – з 18 до 22,8 Н та знизити інтенсивність зношування покриття.

2. Застосування багатошарового покриття TiAl/TiAlN при комплексній іонно-плазмовій обробці, порівняно з одношаровим покриттям TiN, дозволяє збільшити критичне навантаження адгезійного руйнування з 16,5 до 22,8 Н та знизити інтенсивність зношування покриття.

3. Номінальна товщина покриття для підвищення стійкості фрез із швидкоріжучої сталі: покриття TiAlN повинна становити 2,5 мкм; покриття TiN - 5 мкм. На товщину покриття $N_2+TiAlN$ і N_2+TiN іонне азотування не впливає.

4. Значення мікротвердості зразків з покриттями TiAlN і TiN склали відповідно 2100-2250 HV і 1600-1700 HV. Для покриттів за технологіями $N_2+TiAlN$ і N_2+TiN мікротвердість не змінюється, тобто знаходиться в тих межах, що й для покриттів без попереднього іонного азотування.

5. Встановлено, що зі збільшенням тривалості процесу іонного азотування для температури 475 °C та часу обробки понад 60 хвилин знижується адгезійна міцність покриття з 16,4 Н до 15,5 Н з мікротвердістю понад 1300 HV.

6. Встановлено, що попереднє іонне азотування з використанням плазмового джерела з катодом, перед нанесенням покриття TiAl (алюмінід титану), TiAlN (титан-алюміній нітрид) при технологічних режимах азотування $U = 550$, $I = 50$ А, пропорціями газової суміші (аргон до азоту) $Ar/N_2 = 1/1$ і часом обробки в 35 хвилин збільшує зносостійкість поверхні в 1,5 рази і покращує адгезію покриття на 30% порівняно з покриттям TiAl/TiAlN.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Службова характеристика об'єкту виробництва

Об'єкт виробництва є корпусом конусного одноступеневого верхнього редуктора приводу механізму транспортера – чавунна відливка коробчастої форми, що має прямокутну форму з тонкими стінками. Як і всі корпусні деталі, даний корпус є базовою деталлю вищевказаного редуктора і служить для розміщення в ній складальних одиниць і деталей, що з'єднуються між собою з потрібною точністю відносного положення. Він повинен забезпечувати як в статичному стані, так і в процесі роботи постійність точності відносного положення деталей і механізмів, а також плавність їх роботи та відсутність вібрацій. Корпус Е6.021-02.01.002 – нероз'ємний корпус коробчастої форми, що характеризується наявністю системи точно оброблених отворів (Д, Е, Ж) координуваних між собою і відносно базових площин. В основних отворах монтуються підшипникові вузли редуктора.

Основними базовими поверхнями корпуса є поверхні А і Б у вигляді площин, з допомогою яких він кріпиться до рами машини.

До допоміжних отворів відносяться отвори Є, Л, і К, призначені для монтажу гвинтів, якими кріпляться до корпусу кришки підшипникових вузлів та кришок редуктора.

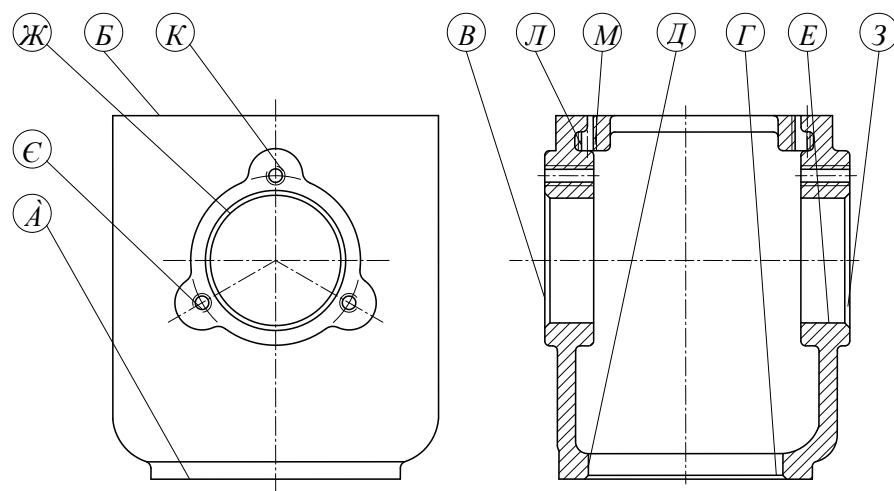


Рисунок 3.1 – Ескіз деталі з позначенням поверхонь

Призначення матеріалу корпусу, а саме чавуну СЧ-20 ГОСТ 1412-85 – корпусу й обойми, катки, вилки, кронштейни та інші деталі, які працюють під дією малих та середніх статичних та динамічних навантажень. Відрізняються непоганими антифрикційними та корозійними властивостями, досить технологічні у виготовленні та обробці. До основних недоліків технологічних властивостей слід віднести їх високу твердість а також малу пластичність.

Виходячи з огляду конструкції корпусу видно, що основними робочими поверхнями являються поверхні А, Б, В, Г, Д, Е і Є.

Поверхня А – площа розмірами 148×210 мм виконана по 12 квалітету точності , шорсткістю Rz 40, за її допомогою редуктор кріпиться до рами машини.

Поверхня Б – площа розмірами 136×116 мм виконана по 14 квалітету точності , шорсткістю Rz 40, до неї кріпиться кришка редуктора.

Поверхні В – торцеві поверхні, до яких кріпляться кришки підшипників привідного валу, виконана по 10 квалітету точності, шорсткістю Rz 40.

Поверхні Г, Ж і З – фаски 1,0×45°, виконані по 14 квалітету точності, шорсткістю Rz 40.

Поверхня Д – отвір Ø82Н8 в якому розміщено підшипники кочення тихохідного валу редуктора, виконано по 8 квалітету точності, з шорсткістю Rz 20.

Поверхні Е – два отвори Ø52Н8 в яких розміщено підшипники кочення швидкохідного валу редуктора, виконані по 8 квалітету точності, з шорсткістю Ra 2,5.

Поверхні Є, К, Л і М – різеві отвори М8-7Н і М10-7Н, в які закручуються болти кріплення кришок підшипників кочення валів редуктора, виконані по 6 квалітету точності, з шорсткістю Ra 12,5.

Аналіз технічних умов на виготовлення деталі, методи забезпечення і контролю згідно прийнятих позначень оброблюваних поверхонь узагальнені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 –Аналіз технічних умов на виготовлення деталі, методи забезпечення і контролю

Познач. поверхні	Технічна вимога	Метод виконання	Метод контролю
А	Забезпечити шорсткість Rz 40.	Фрезерування напівчистове	ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80. Взірці шорсткості ГОСТ9378-75.
Б	Забезпечити шорсткість Rz 40.	Фрезерування напівчистове	ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80. Взірці шорсткості ГОСТ9378-75.
В	Забезпечити шорсткість Rz 40.	Фрезерування напівчистове	ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80. Взірці шорсткості ГОСТ9378-75.
Г, Ж, З	Забезпечити шорсткість Rz 40.	Розточування напівчистове.	Зразки шорсткості ГОСТ9378 – 75. ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80.
Д	Забезпечити точність розміру Ø82H8 і шорсткість Rz 20.	Розточування чистове.	Пробка (Ø82H8) ПР, НЕ ГОСТ16776 – 71. Зразки шорсткості ГОСТ9378 – 75. ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80.
Е	Забезпечити точність розміру Ø852H8 і	Розточування чистове.	Пробка (Ø52H8) ПР, НЕ ГОСТ16776 – 71.

	шорсткість Ra 2,5.		Зразки шорсткості ГОСТ9378 – 75. ШЦ-I-125-0,1 – 1 ГОСТ166-80.
--	--------------------	--	--

3.2 Аналіз технологічності виробу і процесу його обробки

На кресленні деталі вказані всі розміри, квалітети точності, шорсткість поверхонь, основні базові поверхні, на яких не повинно бути заливів та раковин. Вказані допустимі відхилення концентричності отворів, співвісності, радіального биття, прямолінійності. На кресленні вказано матеріал корпусу – чавун СЧ-20 ГОСТ 1412-85, а також захисні покриття внутрішніх та зовнішніх поверхонь.

Деталь являє собою по конфігурації пустотілу відливку складної форми із різною товщиною стінок. Вона отримується методом литва в земельні форми. Тому формування повинно проводитись із застосуванням стержня, який повторює форму, чи формує внутрішній отвір. З точки зору механічної обробки корпус недоліків не має. Кріпильні отвори розміщені на достатньо великій відстані один від одного (> 25 мм.), що дозволяє вести одночасну обробку декількома інструментами (при свердлінні). Решта оброблюваних поверхонь з точки зору точності й чистоти не являють собою значних технологічних труднощів (точні отвори $\varnothing 82H8$; $\varnothing 52H8$ – виконуються чорновим, напівчистовим і чистовим розточуванням), легкий доступ інструменту, хороші базові поверхні, як при токарній обробці, так і при свердлінні отворів, фрезеруванні бокових поверхонь, хороше стружковидалення (стружка не забивається в деталі).

Рівень технологічності конструкції по точності обробки характеризується коефіцієнтом точності [13]

$$K_{T.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{сер}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum Tn_i},$$

Класи точності поверхонь:

Поверхні Є, К, Л і М, (М8-7Н і М10-7Н) – 7 квалітет, n = 14; T = 7;

Поверхні Д, і Е, (Ø82Н8 і Ø52Н8) – 8 квалітет, n = 3; T = 8;

Поверхні А, Б, і В – 12 квалітет, n = 4; T = 12;

Поверхні Г, Ж, З – 14 квалітет, n = 3; T = 14.

$$T_{сер} = \frac{7 \cdot 14 + 8 \cdot 3 + 12 \cdot 4 + 14 \cdot 3}{14 + 3 + 4 + 3} = 7,83$$

$$K_{T.ч.} = 1 - \frac{1}{7,83} = 0,8722$$

Згідно ГОСТ14.205-83 при $K_{T.ч.} > 0,8$ - деталь середньої точності, і відповідно є технологічною.

Рівень технологічності конструкції по шорсткості оцінюється по коефіцієнту шорсткості [13]

$$K_u = \frac{1}{\text{Ш}_{сер}} = \frac{\sum n_{i_u}}{\sum \text{Ш}_i},$$

Поверхні А, і Б, В і Є і Ж, З – Rz40 n = 6 - 4 клас шорсткості;

Поверхні Г, Д, – Rz20 n=2 – 4 клас шорсткості;

Поверхні К, Л і М – Ra 12,5 n=14 – 5 клас шорсткості

Поверхні Е – Ra2,5 n=2 – 6 клас шорсткості;

$$\text{Ш}_{сер} = \frac{2 \cdot 6 + 14 \cdot 5 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 4}{2 + 14 + 2 + 6} = \frac{103}{24} = 4,29;$$

$$K_u = \frac{1}{4,29} = 0,233;$$

За ГОСТ14.205-83 при $K_u > 0,16$ - деталь не важкообробна. Середній клас шорсткості Rz40.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{yc} = \frac{N_{ye}}{N_e} = \frac{12}{14} = 0,86,$$

де N_{ye} - число уніфікованих типорозмірів;

N_e загальне число конструктивних елементів в деталі.

Уніфіковані елемент – такі, що обробляються стандартним ріжучим інструментом і не потребують спеціального.

По ГОСТ14.205-83 при $K_y > 0,6$ деталь відноситься до технологічних.

Коефіцієнт використання матеріалу.

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\partial}}{M_3},$$

де $M_{\partial} = 4,0$ кг. – маса деталі по кресленню;

$M_3 = 6,12$ кг. – маса заготовки (виливка).

$$K_{\text{вм}} = \frac{4,0}{6,12} = 0,65 - \text{коефіцієнт використання матеріалу для серійного типу}$$

виробництва.

Рівень технологічності конструкції по трудомісткості виготовлення (орієнтовний) характеризується коефіцієнтом трудомісткості:

$$K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{пр}}}{T_{\partial}} = \frac{25,05}{33,5} = 0,78,$$

де $T_{\text{пр}}$ і T_{∂} - відповідно проектна та базова трудомісткості виготовлення деталі.

Коефіцієнт трудомісткості складання:

$$K_{\text{скл}} = \frac{T_{\text{скл}}}{T_{\text{мех}}} = \frac{10,05}{33,5} = 0,3$$

де $T_{\text{скл}}$ - трудомісткість складання;

$T_{\text{мех}}$ - трудомісткість механічної обробки.

$K_{\text{скл}} = 0,3$ - що відповідає середньосерійному типу виробництва.

Базовий технологічний процес обробки деталі складається з таких операцій:

Таблиця 3.2 – Технологічний процес виготовлення деталі від заводу-виготівника

№ операції	Зміст операції	Обладнання
005	Карусельно-фрезерна	6М23С3
010	Повздовжньо-фрезерна	ГФ1380
015	Горизонтально-розточна	2Д450
020	Горизонтально-розточна	2Д450
025	Токарна	16К20
030	Вертикально - свердлильна	2Н135
035	Вертикально - свердлильна	2Н135
040	Різенарізна	2Н135
045	Вертикально - свердлильна	2Н135
050	Різенарізна	2Н135

Існуючий маршрут технологічного процесу виготовлення деталі має ряд недоліків, які можна виправити використанням більш продуктивних методів обробки поверхонь, що дозволить зменшити трудомісткість виготовлення деталі та знизити її собівартість. Наприклад об'єднання свердлильних та різенарізних операцій в одну агрегатну дозволить скоротити час обробки та підвищити продуктивність роботи, підняти коефіцієнт завантаження обладнання.

3.3 Вибір способу одержання заготовки

Виходячи з матеріалу – чавун СЧ-20, робимо висновок [12], що заготовку доцільно виготовляти литтям в земляні форми або литтям по виплавляємим моделях.

Вартість заготовок можна розрахувати за формулою [13]:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_1}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000}, \text{ грн.}$$

Проведемо розрахунок по двох різних варіантах виготовлення заготовки і порівняємо їх.

I варіант – виливок (виливка в земляні форми).

$Q = 6,12$ кг. - маса заготовки, кг.;

$q = 4$ кг. - маса деталі по кресленню;

$C_1 = 24000$ грн. - базова вартість одної тонни виливків із чавуну СЧ-20;

$S_{відх} = 2200$ грн. - вартість одної тонни відходів чавуну СЧ-20;

Корегуючі коефіцієнти: $k_T = 1$; $k_C = 1$; $k_B = 0,72$; $k_M = 0,62$; $k_{II} = 1,22$.

$$S_{загI} = \left(\frac{24000}{1000} \cdot 6,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,72 \cdot 0,62 \cdot 1,22 \right) - (6,12 - 4,0) \frac{2200}{1000} = 765 \text{ грн.}$$

II варіант – виливок (литво по виплавляємим моделях).

$Q = 5,6$ кг. - маса заготовки, кг.;

$q = 4,0$ кг. - маса деталі по кресленню;

$C_1 = 24000$ грн. - базова вартість одної тонни виливків із чавуну СЧ-20;

$S_{відх} = 2200$ грн. - вартість одної тонни відходів чавуну СЧ-20;

$k_T = 1$; $k_C = 1$; $k_B = 0,8$; $k_M = 0,62$; $k_{II} = 1,2$.

$$S_{загII} = \left(\frac{24000}{1000} \cdot 5,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,62 \cdot 1,2 \right) - (5,6 - 4,0) \frac{2200}{1000} = 763 \text{ грн.}$$

Економічний ефект при співставленні способів отримання заготовок визначаємо за формулою [12]:

$$E_3 = (S_{загI} - S_{загII}) \cdot N = (767 - 763) \cdot 6000 = 24000 \text{ грн.};$$

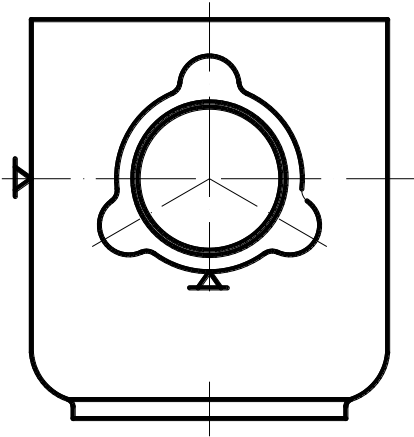
Так як литво по виплавляємим моделях є економічно недоцільним, вибираємо заготовку для корпусу – литво в земляну форму 8-го класу точності розмірів, 3-го ряду припусків.

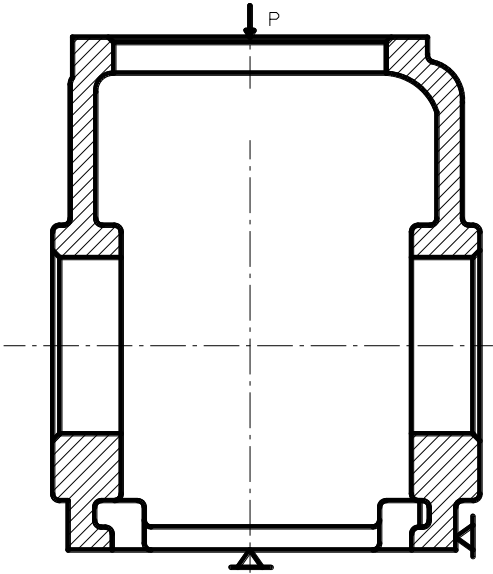
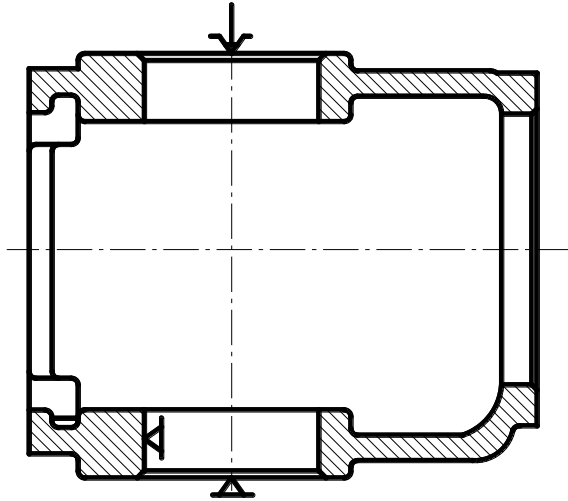
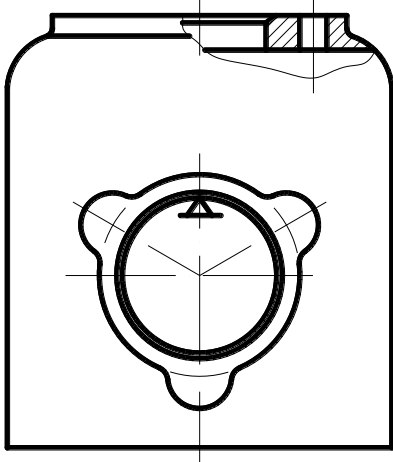
3.4 Вибір технологічних баз та маршруту оброблення деталі

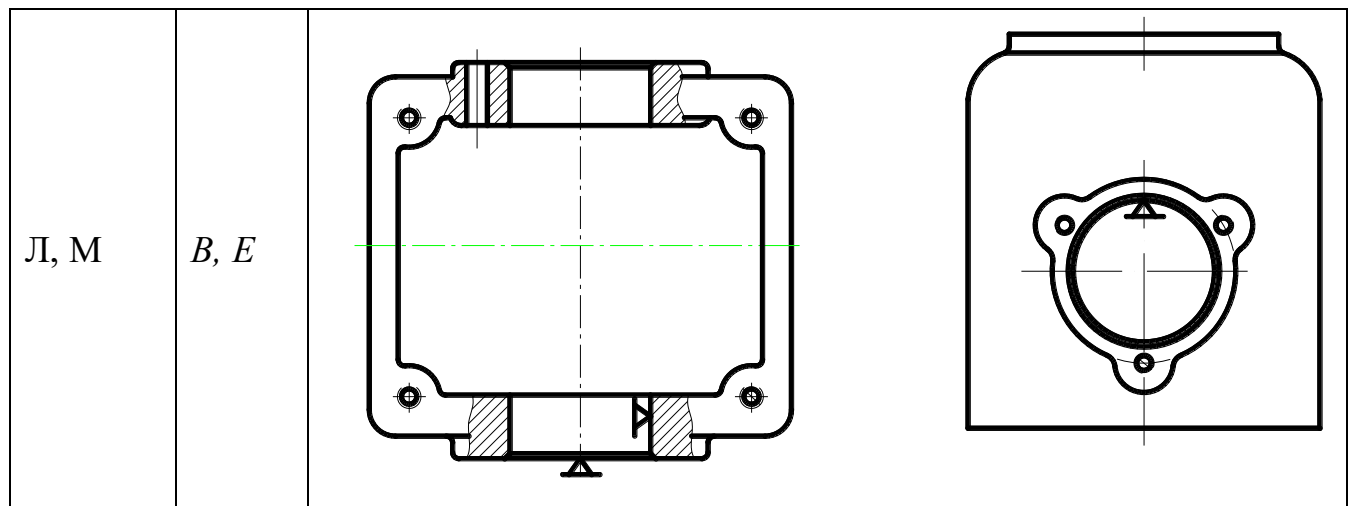
При зміні баз в процесі обробки, точність оброблення знижується із-за похибок взаємного розміщення нових і раніше застосовуваних баз. У нашому випадку на фрезерній операції в якості баз застосовуємо поверхні торців бобишок *B* та бокову поверхню корпусу. При фрезеруванні торців та розточуванні отворів в якості баз застосовуємо оброблену поверхню підшви *B* та бокових поверхонь корпусу. При підрізанні торця, свердлінні отворів та нарізанні різі в якості баз використовуємо оброблені торці бобишок та розточений отвір *E*.

Отже в результаті аналізу вибору технологічних баз ми бачимо, що технічні вимоги радіального биття, співвісності та точності розміщення отворів витримується, так як витримується принцип постійності баз (обробка поверхонь проводиться з чистих постійних, а не чорнових баз).

Таблиця 3.3 – Вибір баз обробки корпусу Е6.021-02.01.002

Позначення оброблюваної поверхні	Технологічні бази	Теоретична схема базування та закріплення
Б,	<i>B</i>	

В, Г	<i>Б</i>	
А, Е, К	<i>Б, Г</i>	
Д,	<i>Б, Е</i>	



Таблиця 3.4 – Маршрут технологічного процесу оброблення

№ операції	Назва операції	Оброблювані поверхні	Модель обладнання
005	Карусельно-фрезерна	Б	6М23С3
010	Слюсарна		
015	Повздовжньо-фрезерна	В, Г	ГФ1380
020	Слюсарна		
025	Агрегатно-розточна	Е	1АМ0351
030	Токарна	А, Д	1П365
035	Вертикально-свердлильна	Є	2Н135
040	Агрегатна	К, Л, Ж, М	ХА12523

На основі проведеного аналізу та вибору оптимального варіанту маршруту технологічного процесу виготовлення деталі проведемо детальне проектування техпроцесу.

Таблиця 3.5 – Технологічний процес виготовлення

№ операції	Назва операції та зміст переходів	Оброблювані поверхні	Обладнання
005	Карусельно-фрезерна 1. Фрезерувати поверхню в розмір $61 \pm 1,5$ мм.	<i>Б</i>	6М23С3
010	Слюсарна операція 1. Зачистити заусенці після фрезерування	<i>Б</i>	Верстак
015	Повздовжньо-фрезерна 1. Фрезерувати торці бобишок одночасно	<i>В, Г</i>	ГФ1380
020	Слюсарна операція 1. Зачистити заусенці	<i>Е, В, Г</i>	Верстак
025	Агрегатно-розточна 1. Розточити попередньо два отвори $\varnothing 52H8$ одночасно з розточуванням фасок. 2. Розточити два отвори $\varnothing 52H8$ одночасно з розточуванням фасок.	<i>Е</i> <i>Е</i>	1АМ0351
030	Токарно-револьверна 1. Підрізати торець.	<i>А</i>	1П365
035	Вертикально-свердлильна Свердлити одночасно 4 отвори в розміри 1, 2, 3.	<i>Є</i>	2Н135
040	Агрегатна 1. Свердлити одночасно 4 отвори. 2. Свердлити одночасно 3 отвори. 3. Нарізати різь в 3 отворах. 4. Свердлити одночасно 3 отвори. 5. Нарізати різь в 3 отворах. 6. Нарізати різь в 4 отворах. 7. Нарізати різь в 4 отворах	<i>Є</i> <i>К</i> <i>М,</i> <i>Л,</i> <i>Ж,</i> <i>М,</i> <i>К</i>	ХА15523

3.5 Вибір режимів оброблення деталі та норм часу

Розрахунково встановлювати режими обробки є недоцільно, в сучасному машинобудуванні набагато раціональніше призначити їх за нормативними довідниковими таблицями [13].

Таблиця 3.5 – Режими обр оброблення корпусу

Назва операції, перехід	t, мм.	L, мм.	i	T _м , хв.	S _p , мм/ об	n, об/ хв.	V, м/хв.	S _м , мм/ хв.	T _о , хв.	N, кВт.	T _д хв.
005 Кар-фрез. 1. Перехід.	2,0	400	1	60	0,2	250	125,6	300	0,8	2,4	0,3
015 Поз.- фрез. 1. Перехід.	2,0	400	1	60	0,2	500	157	370	2,7	3,5	0,7
025. Алм.-розт. 1. Перехід.	2,5	85	1	45	0,3	355	56	320	0,83	1,4	0,7
2. Перехід.	0,5	85	1	45	0,3	500	78	400	0,54	0,9	
030. Ток.-рев. 1. Перехід.	3,0	30	1	45	0,5	188	72	200	0,32	1,78	0,2
035. Верт-свер. 1. Перехід.	4,25	15	1	60	-	180	19,2	-	0,3	1,2	0,5
040. Агрегатна 1. Перехід.	3,4	22	1	60	0,079	728	15,3	-	0,38	0,71	0,2
2. Перехід.	3,4	28	1	60	0,079	752	15,8	-	0,13	0,71	
3. Перехід.	0,75	32	1	60	1,25	192	4,85	-	0,47	0,59	
4. Перехід.	3,4	28	1	60	0,079	752	15,8	-	0,12	0,71	
5. Перехід.	0,75	28	1	60	1,25	192,5	4,85	-	0,12	0,59	
6. Перехід.	0,75	32	1	60	1,25	192	4,85	-	0,13	0,59	
7. Перехід.	0,75	24	1	60	1,25	180	5,7	-	0,09	0,48	

Для переходів (операцій) технологічного процесу проводимо нормування по довідковій літературі, дані представимо у вигляді таблиці.

Таблиця 2.11 – Норми штучного часу на операції техпроцесу

Номер опер.	T_0 , хв.	Допоміжний, хв.			$T_{оп}$, хв.	$T_{обс}$, хв.	$T_{від}$, хв.	$T_{шт}$, хв.	$T_{п.з.}$, хв.	n , шт.	$T_{шт.к}$, хв.
		$T_{в.з.}$	$T_{вим}$	$T_{уп}$							
005	0,8	0,21	0,24	0,05	1,3	0,019	0,019	1,338	32	128	1,45
015	2,7	0,35	0,21	0,1	3,12	0,14	0,14	3,48	32	128	4,12
025	0,83	0,25	0,25	0,1	1,483	0,15	0,15	1,783	32	128	2,14
030	0,32	0,21	0,21	0,13	0,82	0,01	0,01	0,84	32	128	1,02
035	0,3	0,21	0,21	0,13	0,85	0,018	0,018	0,87	32	128	1,01
040	0,7	1,2	1,15	1,2	4,35	0,04	0,04	4,43	32	128	5,12

3.6 Встановлення кількості обладнання

Необхідна мінімальна кількість верстатів

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_0 \cdot \eta_{зн}},$$

де: $N = 6000$ шт. – програма випуску деталей;

$F_0 = 3979$ год. – дійсний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_{зн} = 0,8$ - нормативний коефіцієнт завантаження обладнання для серійного виробництва.

Операція 005

$$T_{шт} = 1,45 \text{ хв.}$$

$$m_{p1} = \frac{6000 \cdot 1,45}{3979 \cdot 0,8} = 2,73.$$

Приймаємо $m_n = 3$.

Операція 015

$$T_{um} = 4,12 \text{ хв.}$$

$$m_{p_2} = \frac{6000 \cdot 4,12}{3979 \cdot 0,8} = 7,76.$$

Приймаємо $m_n = 8$.

Операція 025

$$T_{um} = 2,14 \text{ хв.}$$

$$m_{p_3} = \frac{6000 \cdot 2,14}{3979 \cdot 0,8} = 3,92.$$

Приймаємо $m_n = 4$.

Операція 030

$$T_{um} = 1,02 \text{ хв.}$$

$$m_{p_4} = \frac{6000 \cdot 1,02}{3979 \cdot 0,8} = 1,92.$$

Приймаємо $m_n = 2$.

Операція 035

$$T_{um} = 1,01 \text{ хв.}$$

$$m_{p_5} = \frac{6000 \cdot 1,01}{3979 \cdot 0,8} = 1,9.$$

$m_n = 2$.

Операція 040

$$T_{um} = 5,12 \text{ хв.}$$

$$m_{p_6} = \frac{6000 \cdot 5,12}{3979 \cdot 0,8} = 9,65.$$

Приймаємо $m_n = 10$.

$$O_{заг} = \sum O = 29.$$

Визначимо коефіцієнти завантаження обладнання по операціях технологічного процесу за формулою:

$$\eta_3 = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\%;$$

$$\eta_{3_1} = \frac{2,73}{3} \cdot 100\% = 91; \quad \eta_{3_2} = \frac{7,76}{8} \cdot 100\% = 87,9\%;$$

$$\eta_{3_3} = \frac{3,92}{4} \cdot 100\% = 92,1\%; \quad \eta_{3_4} = \frac{1,92}{2} \cdot 100\% = 96\%;$$

$$\eta_{3_5} = \frac{1,9}{2} \cdot 100\% = 95\%; \quad \eta_{3_6} = \frac{9,65}{10} \cdot 100\% = 96,5\%.$$

Коефіцієнт завантаження

$$\eta_{3_c} = \frac{\sum \eta_{3_i}}{i} = 93,08\%$$

Коефіцієнт використання по основному часу

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{\text{шт.к.}}}.$$

$$\eta_{o_1} = \frac{0,8}{1,45} \cdot 100\% = 63,3\%; \quad \eta_{o_2} = \frac{2,7}{4,12} \cdot 100\% = 65,5\%;$$

$$\eta_{o_3} = \frac{0,83}{2,14} \cdot 100\% = 38,8\%; \quad \eta_{o_4} = \frac{0,32}{1,02} \cdot 100\% = 31,37\%;$$

$$\eta_{o_5} = \frac{0,3}{1,01} \cdot 100\% = 29,7\%; \quad \eta_{o_6} = \frac{0,7}{5,12} \cdot 100\% = 13,7\%.$$

Середній коефіцієнт використання обладнання по основному часу:

$$\eta_{o_c} = \frac{\sum \eta_{o_i}}{i} = 0,46.$$

Коефіцієнт використання по потужності

$$\eta_n = \frac{N_{\text{пиз}}}{N_{\text{верст}}};$$

Середній коефіцієнт використання по потужності:

$$\eta_{n_c} = \frac{\sum \eta_{n_i}}{i} = 0,62;$$

На основі отриманих коефіцієнтів завантаження та використання обладнання складаємо графіки завантаження та використання верстатів.

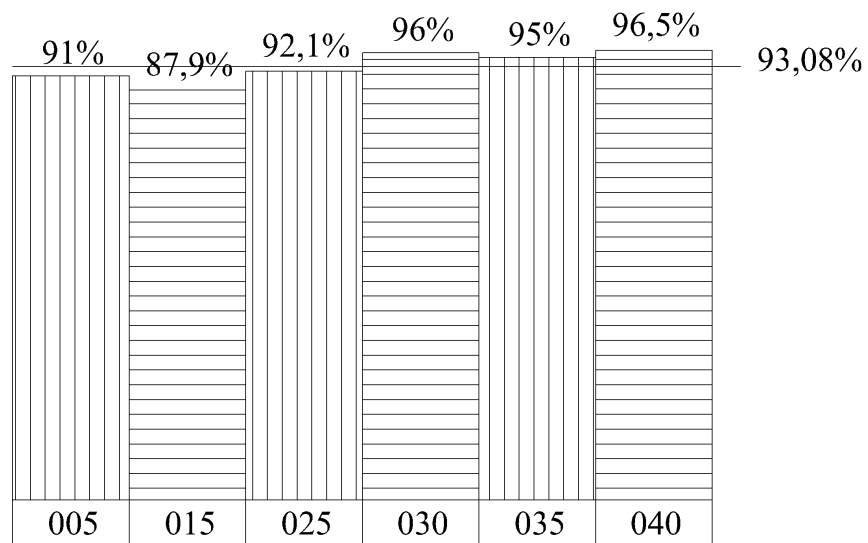


Рисунок 3.2 – Графік завантаження використовуваного обладнання

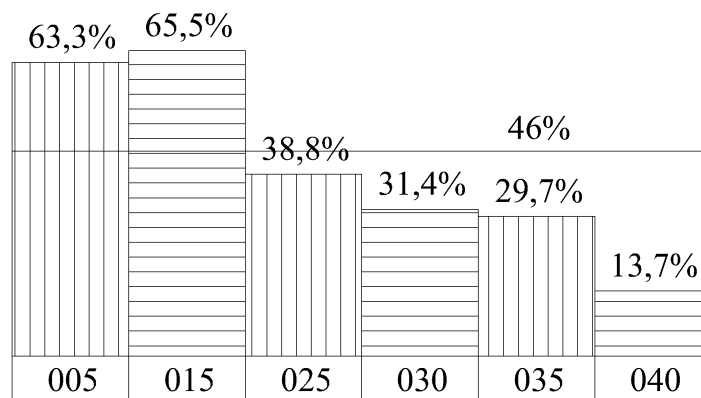


Рисунок 3.3 – Графік завантаження використовуваного обладнання по основному часу

3.7 Розробка спеціальної оснастки

3.7.1 Приспособлення для фрезерування площин

Приспособлення складається із основних складальних одиниць до яких відносяться (рис. 3.4): пневмоциліндр 1, пневморозподільник 2, корпус 3 і трубопроводи 4, 5 для подачі стиснутого повітря. Всі ці елементи монтуються на корпусі 3, який встановлюється на стіл верстату. Для підвищення точності встановлення призначені шпонки 30. Оброблювана деталь встановлюється, попередньо обробленою поверхнею, на стакан 8 і штифти 25 приспособлення через тягу 12 зверху якої встановлюється розрізна шайба. Через пневморозподільник 2 трубопроводами 4, 5 подається стиснуте повітря у пневмоциліндр 1.

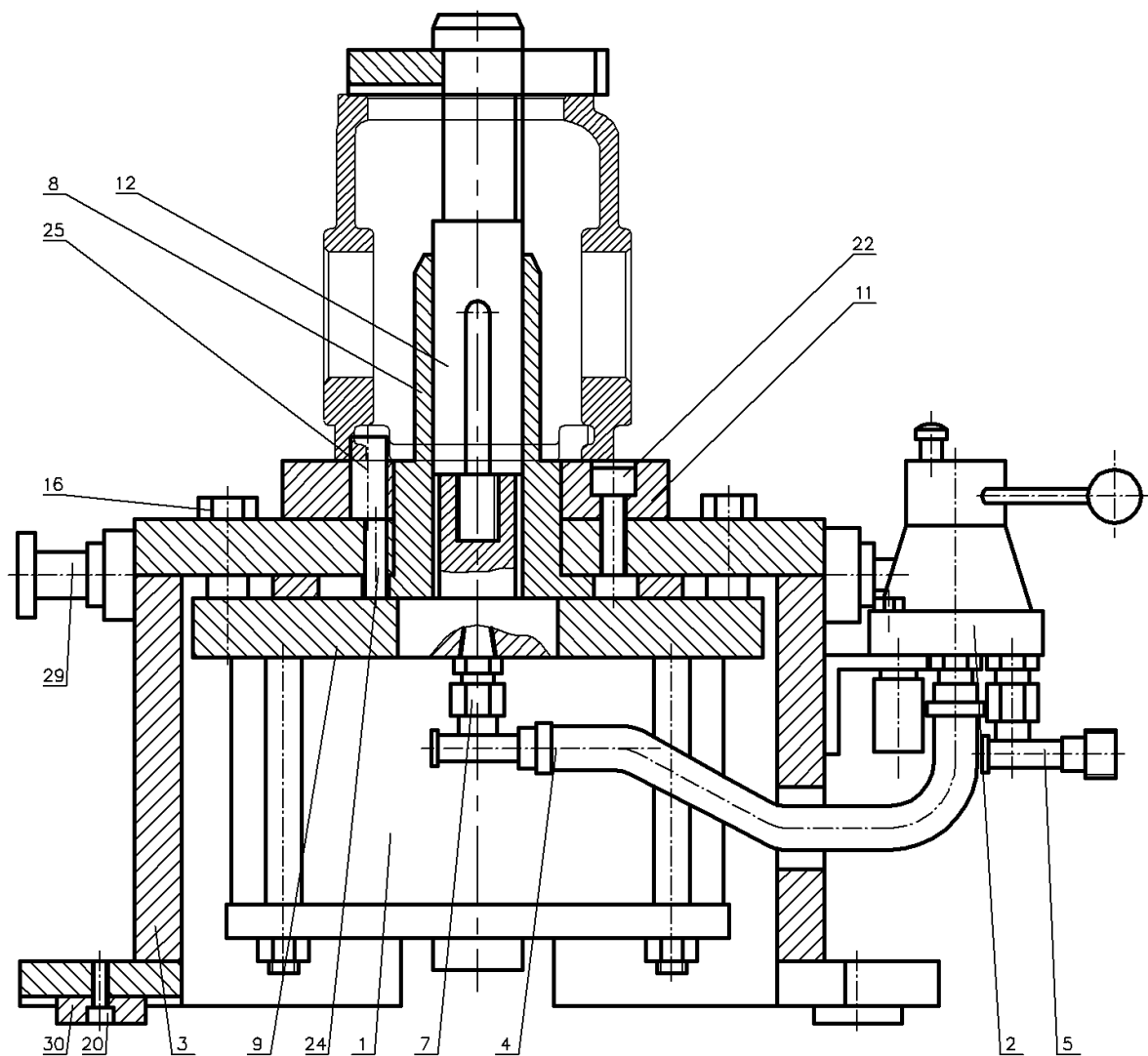


Рисунок 3.3 – Приспособлення для фрезерування площин

Відповідно під дією стиснутого повітря поршень пневмоциліндра переміщується вниз і оброблювана деталь розрізною шайбою тяги 12 притискується до торцевої поверхні стакану 8. після цього проводиться фрезерне оброблення бічних площин корпусу. Знімання оброблюваної деталі здійснюється у зворотному порядку. Всі інші елементи пристосування, які не задіяні у даному описі, є фіксуючими, складальними чи монтажними деталями.

Точність пристосування [15]

$$\varepsilon_{np} = \delta - k \sqrt{(k_1 \varepsilon_{\bar{\theta}})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{уст}^2 + \varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_{p.i}^2 + (k_2 \omega)^2},$$

де δ – допуск, $\delta = 0,8$ мм;

k – коефіцієнт зміщення установочного стакану, $k = 1,2$;

$\varepsilon_{\bar{\theta}}$ – похибка установки корпусу [15]

$$\varepsilon_{\bar{\theta}} = \frac{\delta_D}{2},$$

де δ_D – зміщення попередньо обробленої площини, $\delta_D = 0,16$ мм;

$$\varepsilon_{\bar{\theta}} = \frac{0,16}{2} = 0,08 \text{ мм.}$$

k_1, k_2 – коефіцієнти серійності виробництва, $k_1 = 0,7$; $k_2 = 0,6$;

ε_3 – похибка від затиску, $\varepsilon_3 = 0$ мм;

$\varepsilon_{уст}$ – похибка встановлення пристосування внаслідок зміщення шпонок, мм;

$$\varepsilon_{уст} = \frac{L_{\partial} \cdot s_{ш}}{l},$$

де L_{∂} – довжина фрезерування, $L_{\partial} = 85$ мм;

$s_{ш}$ – зазор між шпонкою пристосування і пазом стола, $s_{ш} = 0,05$ мм;

l – відстань між місцями кріплення шпонок, $l = 315$ мм.

$$\varepsilon_{уст} = \frac{85 \cdot 0,05}{315} \approx 0,013 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{зн}$ – відхилення установки (штифти і площа стакану), $\varepsilon_{зн} = 0,02$ мм;

$\varepsilon_{p.i}$ – зміщення інструменту, $\varepsilon_{p.i} = 0,01$;

ω – похибка внаслідок оброблення, $\omega = 0,08$ мм.

$$\varepsilon_{np} = 0,18 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,08)^2 + 0^2 + 0,013^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + (0,6 \cdot 0,08)^2} \approx 0,065 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{np} \leq \delta$ – що забезпечує необхідну точність обробки.

Сила різання при фрезеруванні площин [13]

$$P_{piz} = C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot z \cdot B^z \cdot D^q,$$

де значення поправочних коефіцієнтів і режимів оброблення: $C_p = 68$; $t = 1$ мм;
 $S_z = 0,08$ мм/зуб; $z = 12$; $B = 85$ мм; $D = 100$ мм; $q = -0,86$; $x = 0,86$; $y = 0,74$; $z = 1$.

$$P = 68 \cdot 1^{0,86} \cdot 0,08^{0,74} \cdot 12 \cdot 85^1 \cdot 100^{-0,86} \approx 1031 \text{ кН.}$$

Діаметр пневмоциліндра пристосіблення за умови $Q \geq P_{piz}$

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \cdot p,$$

де D – діаметр пневмоциліндра, см;

d – діаметр штока пневмоциліндра, $d = 2,5$ см;

p – робочий тиск в пневмосистемі, $p = 4$ кг/см².

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p} + d^2}.$$

Необхідне мінімальне значення пневмоциліндра

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1031}{3,14 \cdot 4} + 2,5^2} = 13,2 \text{ см} \approx 132 \text{ мм.}$$

Із стандартних значень діаметрів пневмоциліндрів приймаємо діаметр пневмоциліндра $D = 145$ мм [15].

3.7.2 Приспособлення для підрізки торця

Базовою деталлю пристосування є (див. рис. 3.4) корпус 1, за допомогою якого пристосування встановлюється в патрон токарно-револьверного верстату. Базування пристосування здійснюється за допомогою конуса, а закріплення – болтами (на кресленні не показані).

До корпуса пристосування кріпиться планшайба 3 з противагами 2. На горизонтальній площадці планшайби 3 розміщена оправка 7 на яку встановлюється оброблювана деталь. Точність встановлення деталі позиціюється важелем 5, яким через упор 6 гвинтом 8 встановлюється точне положення оброблюваної деталі. Фіксація деталі забезпечується гайкою 13 оправки 7.

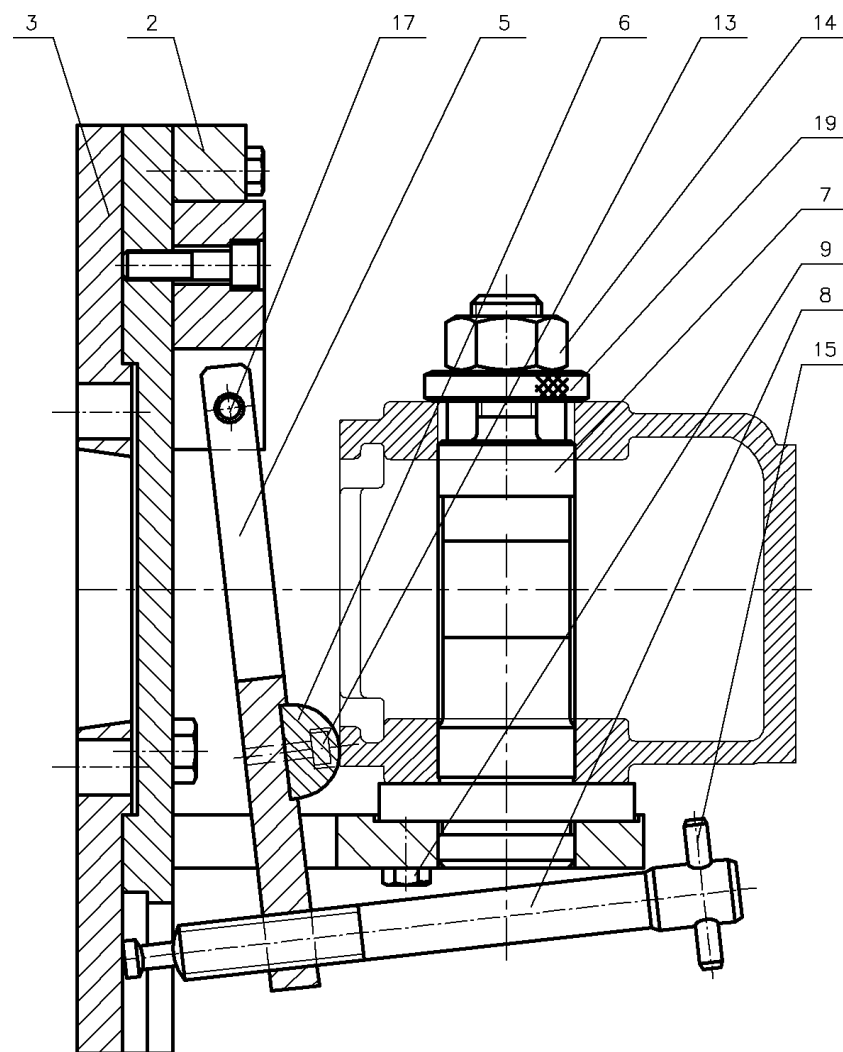


Рисунок 3.4 – Приспособлення для підрізки торця

Підтискання деталі здійснюється за допомогою болта через притискний важіль, що має можливість рухатись навколо осі шарнірного з'єднання і сферичною опорною поверхнею впирається в оброблювану деталь.

При обробці плоскої поверхні, перпендикулярної до установочної бази, похибка установки визначається за формулою:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_z,$$

де ε_{δ} - похибка базування;

ε_z - похибка закріплення.

Похибка базування має місце при переміщенні установочної та вимірної баз, а в нашому випадку вона рівна нулю.

Похибка закріплення виникає в результаті зміщення оброблюваних поверхонь заготовки від дії затискної сили. В нашому випадку вона складає [15] $\varepsilon_z = 75 \text{ мкм} = 0,075 \text{ мм}$.

Отже похибка установки деталі в даному пристосібленні складається виключно з похибки закріплення і становить 0,075 мм, що менше допуску на обробку даної поверхні.

3.7.3 Кондуктор для свердління 4-отв. Ø8,5 мм

Кондуктор складається з універсального комплекту 1, який розміщений на корпусі 2. У корпусі 2 вмонтовані колонки 6 із пружинами 5, які підтискають кондукторну плиту 3. На кондукторній плиті по діаметральному розміру оброблення розміщені швидко знімні кондукторні втулки 18, які скеровують інструмент і забезпечують необхідну точність обробки. Установка оброблюваної деталі проводиться на підставку 9, яка фіксується на штифти 21 і закріплюється гвинтами 12 до корпусу 2 кондуктора. По боках здійснюється базування по підставках 4 і 8. Точність базування також забезпечує палець 7.

Затиск деталі забезпечується за рахунок руху подачі свердлильної

головки, яка через пружини 5 діє на кондукторну плиту 3, що в свою чергу забезпечує необхідний затиск заготовки. Пружини 5 також запобігають поломці інструменту, утримуючи кондукторну плиту у вихідному положенні до моменту виведення свердл із кондукторних втулок.

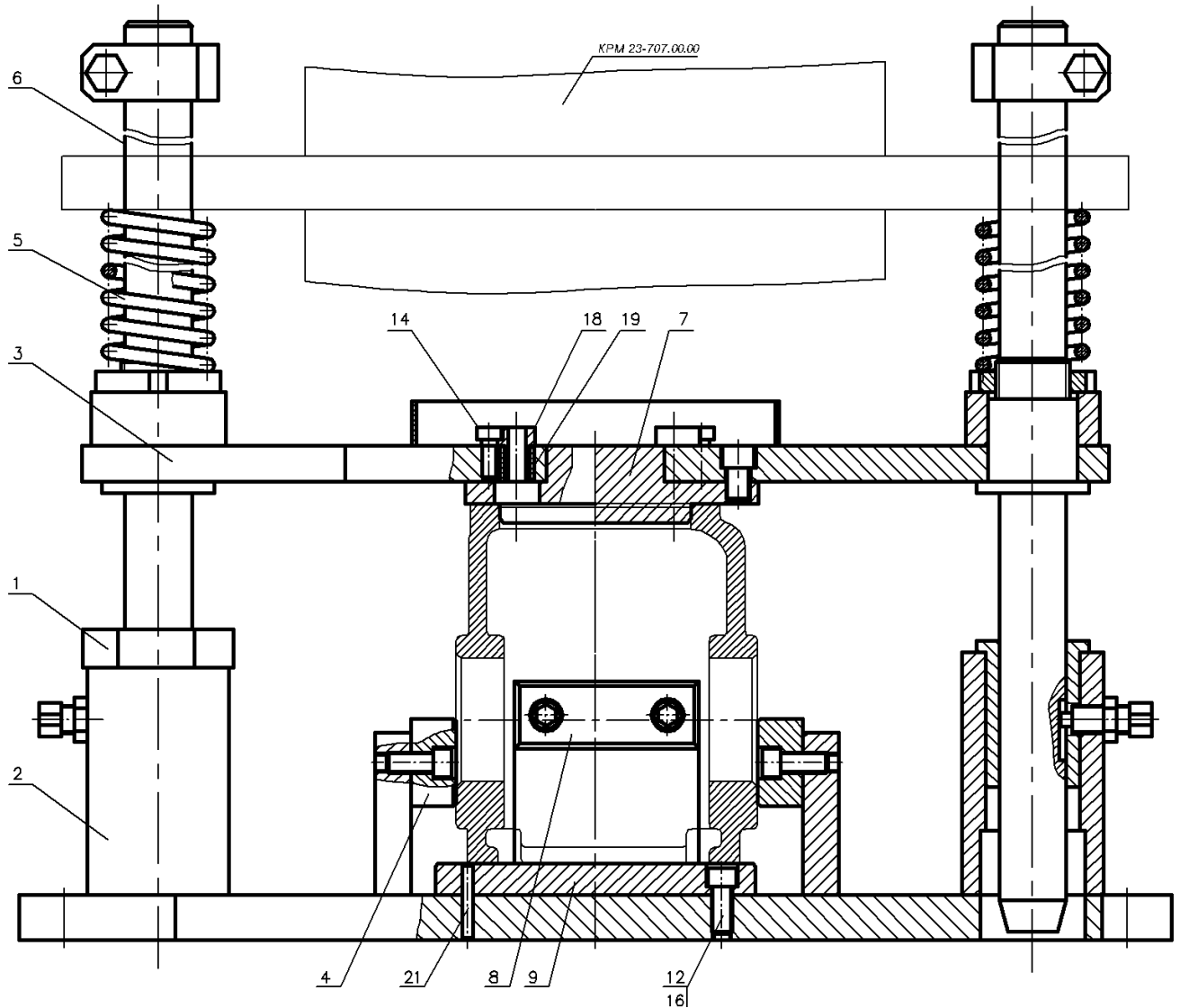


Рисунок 3.5 – Кондуктор для свердління 4-отв. Ø8,5 мм

Точність кондуктора визначимо за попередньо наведеною формулою [15].
Відповідно $\delta = 0,8$ мм; $k = 1,2$; $k_1 = 0,7$; $k_1 = 0,6$; $\varepsilon_3 = 0$ мм; $\varepsilon_{3n} = 0,02$ мм;
 $\varepsilon_{p.i} = 0,01$; $\omega = 0,08$ мм.

$$\varepsilon_6 = \frac{\delta_D}{2},$$

де δ_D – зміщення установлюваної площини, $\delta_D = 0,16$ мм;

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{0,16}{2} = 0,08 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{уст} = \frac{L_{\delta} \cdot s_{ш}}{l},$$

де L_{δ} – довжина свердління, $L_{\delta} = 18$ мм;

$s_{ш} = 0,05$ мм;

l – відстань розміщення шпонок, $l = 475$ мм.

$$\varepsilon_{уст} = \frac{18 \cdot 0,05}{475} \approx 0,0019 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{np} = 0,18 - 1,2 \sqrt{(0,7 \cdot 0,08)^2 + 0^2 + 0,0019^2 + 0,02^2 + 0,01^2 + (0,6 \cdot 0,08)^2} \approx 0,087 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{np} \leq \delta$ – що гарантує точність оброблення.

Сила затиску P

$$P \geq mP_o,$$

де m – кількість інструменту;

P_o – сила осьового врізання [13]

$$P_o = 10C_p D^q s^y K_p,$$

де $C_p = 42,7$; $D = 4,25$ мм; $q = 1$; $y = 0,8$; $s = 0,2$ мм/об.;

K_p – коефіцієнт врахування умов свердління.

$$K_p = \left(\frac{HB}{190} \right)^n,$$

де HB – твердість сплаву АЛ-4, $HB = 190$; $n = 0,6$.

$$K_p = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,6} = 1.$$

Відповідно

$$P_o = 10 \cdot 42,7 \cdot 4,25^1 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1 = 996,1 \text{ Н.}$$

$$P \geq 4 \cdot 996,1 = 3966,4 \text{ Н}$$

Відповідність застосовуваного обладнання

$$N_{\partial\partial} \geq N_{\text{зол}} \eta_{\partial},$$

де $N_{\partial\partial}$ – потужність двигуна головного руху верстату, $N_{\partial\partial} = 4$ кВт;

$N_{\text{зол}}$ – потужність свердлильної головки, кВт;

η_{∂} – ККД верстату, $\eta_{\partial} = 0,8$.

$$N_{\text{зол}} = m \cdot N \cdot \eta_{\text{зол}},$$

де m – кількість свердл в головці, $m = 4$;

N – потужність одного інструменту, $N = 0,53$;

$\eta_{\text{зол}}$ – ККД свердлильної головки, $\eta_{\text{зол}} = 0,8 \dots 0,9$.

$$N_{\text{зол}} = 4 \cdot 0,53 \cdot 0,85 \approx 1,8 \text{ кВт.}$$

$4 \geq 1,8$ – отже затиск оброблюваної деталі забезпечено.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Вибір та розрахунок механізму автоматичного завантаження деталі на верстат

Проаналізувавши форму і розміри деталі та в якості механізму автоматичного завантаження приймемо бункерний завантажувальний пристрій. В бункерних завантажувальних пристроях запас деталей розміщується у ємкостях (бункерах) коробчастого типу. Деталі з бункера потрапляють в накопичувач вже в орієнтованому положенні. Бункер – це ємкість для розміщення заготовок або деталей. Бункери виготовляються з чавуну, алюмінію або зварними з листової сталі. Бункерні пристрої є наступних типів: з ножовими захватами, з двома піввтулками, барабанні, дискові карманного типу, вібробункери. В якості автоматичного завантажувального пристрою приймемо вібробункер з електромагнітним приводом [14] згідно ГОСТ 20796-75.

Вібробункери у порівнянні з бункерами інших типів мають наступні переваги: можливість їхнього застосування для подачі на верстат різноманітних за формою й розмірами деталей, швидке переналагодження вібробункера при переході з одного типорозміру деталей на інший, простота його регулювання для збільшення продуктивності, надійність у роботі, відсутність кінематичного зв'язку з верстатом.

Вібробункер має привід і складається з ємності (бункера) із закріпленням всередині спіральним лотком, по якому переміщаються й орієнтуються деталі. На рис.8.1 наведено конструкцію вібробункера з вертикальним електромагнітним вібратором. Він складається з бункера 1, на внутрішній поверхні якого закріплений спіральний лоток, а до зовнішньої поверхні прикріплений лоток для деталей, що виходять із бункера і надходять на верстат. Нижня частина 2 вібробункера встановлена й закріплена на трьох похилих

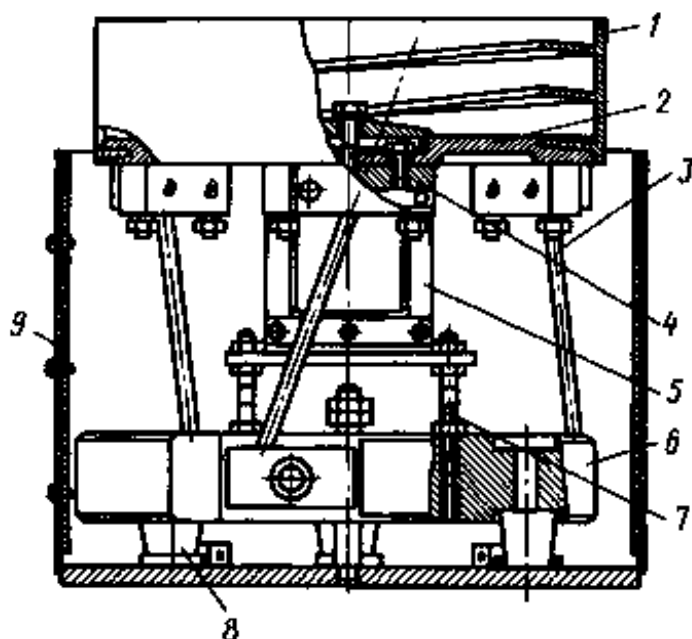


Рисунок 4.1 – Конструкція вібробункера з електромагнітним приводом

циліндричних рухомих стержнях 3 і до неї прикріплений якорь 4 електромагніта 5, закріпленого на масивній плиті 6. Зазор між якорем і електромагнітом можна змінювати підйомом або опусканням електромагніта за допомогою гвинтів 7. Від величини цього зазору залежить швидкість переміщення деталей по спіральному лотку бункера.

Для віброізоляції вібробункер встановлений на гумових амортизаторах 8. Електромагнітний привід вібробункера закритий кожухом 9. Електромагніт живиться від мережі змінного струму напругою 220 вольт.

Габаритні розміри вібробункера залежать від габаритів деталі [14]

$$h = (0,2 \div 0,3)D_{cp}, \quad (4.1)$$

де D_{cp} – внутрішній діаметр вібробункера, мм.

$$D_{cp} = (6 \div 12)l_d, \quad (4.2)$$

де l_d – довжина завантажуваної деталі, $l_d = 120$ мм.

$$D_{cp} = 10 \cdot 120 = 1200 \text{ мм};$$

$$h = 0,2 \cdot 1200 = 240 \text{ мм}.$$

Крок спірального лотка вібробункера

$$s = 1,5h_{\delta} + \delta, \quad (4.3)$$

де h_{δ} – висота переміщуваної деталі в площині, яка перпендикулярна до її руху по лотку вібробункера, $h_{\delta} = 71$ мм;

δ – товщина стінки лотка, $\delta = 3$ мм [14].

$$s = 1,5 \cdot 71 + 3 = 109,5 \approx 110 \text{ мм.}$$

Кут підйому спірального лотка знаходять з рівності

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi D_{cp}}. \quad (4.4)$$

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{110}{3,14 \cdot 2320} \right) \approx 2^{\circ}.$$

Ширина лотка вібробункера

$$B = b_{\delta} + (2 \div 3), \quad (4.5)$$

де b_{δ} – розмір переміщуваної деталі в напрямку її руху, $b_{\delta} = 160$ мм.

$$B = 160 + 3 = 163 \text{ мм.}$$

Середня продуктивність при встановленому режимі роботи

$$Q_{cp} = \frac{\nu_{cp} \cdot 60 R_{\delta}}{l_{\delta}}, \quad (4.6)$$

де ν_{cp} – середня швидкість переміщення деталей, $\nu_{cp} = 25$ мм/с [14];

R_{δ} – коефіцієнт заповнення.

Коефіцієнт заповнення лотка вібробункера рівний

$$R_{\delta} = P_{lo} \Delta_{lo}, \quad (4.7)$$

де P_{lo} – ймовірність орієнтованого положення деталей на вихідному лотку;

Δ_{lo} – відносна довжина деталі, мм.

$$P_{lo} = \frac{1}{\sqrt{1 + (d/l_o)^2}}, \quad (4.8)$$

де d – базовий діаметр деталі, $d = 120$ мм.

$$P_{lo} = \frac{1}{\sqrt{1 + (120/120)^2}} \approx 0,71.$$

$$\Delta_{lo} = \frac{l_o}{l_o + s'}, \quad (4.9)$$

де s' – середнє значення зазору між рухомими деталями, $s' = 25$ мм.

$$\Delta_{lo} = \frac{120}{120 + 25} = 0,96.$$

$$R_o = 0,71 \cdot 0,96 \approx 0,682.$$

$$Q_{cp} = \frac{25 \cdot 60 \cdot 0,682}{120} = 8,53 \approx 9 \text{ шт./хв.}$$

4.2 Розробка заходів для зниження рівня шуму на дільниці

Захист від виробничого шуму в цехах машинобудівних заводів має важливе значення для оздоровлення умов праці і підвищення її продуктивності. Захист від стрясань сприяє нормальній роботі устаткування і зберігає його від передчасного виходу з ладу.

Проектуючи нові машини і виробничі агрегати, слід передбачати найефективніші заходи по зниженню шуму, особливо на робочих місцях, до рівней, не більше допустимих.

Для послаблення шуму і стрясання агрегатів та верстатів у джерелі їх утворення в багато різноманітних засобів [16, 17]. Один з них – заміна шумного

процесу безшумним. В цьому випадку необхідно замінити ударні дії безударними. Наприклад, зворотно-поступальний рух деталей агрегатів необхідно замінити обертовим. Якщо виникає шум від вібрації співударних деталей і окремих вузлів, треба окремі вузли зчленувати за допомогою матеріалів, що мають велике внутрішнє тертя (гуми, корку, бітумного картону, повсті, азбесту). Перемежування металевих деталей з пластмасовими або з іншими незвучними матеріалами теж дає добрий ефект. При значних шумах в напрямних трубах (револьверні верстати і інші) доцільно влаштовувати гнучкі зв'язки між прутом і трубою, які є по суті демпфуючими пристроями, які зменшують вібрації та шум.

Там, де є вентилятори, ежектори, повітродувки і інші установки з повітряними струменями, необхідно гнучкі переходи на повітроводах робити з тканини, а фланці – з гуми. Знижує шум мащення співударних деталей в'язкими рідинами. Для зниження шуму у редукторах їх вміщують у рідинні, масляні та інші ванни. Якщо не можна зменшити шум у самому джерелі його утворення до допустимого рівня, в конструкцію агрегату слід включити пристрої, що перешкоджають поширенню шуму назовні, тобто ізолюють чи вбирають його. Для цього треба: агрегати, що утворюють шум усією своєю поверхнею (електричні двигуни, шестеренчасті редуктори та ін.), повністю замикати у звукоізолюючі кожухи з виводом назовні органів керування та контрольних приладів і по змозі здійснювати автоматичне керування роботою цих агрегатів; шумні вузли агрегату – шестеренчасті редуктори, ланцюгові, пасові та інші передачі, співударні деталі, двигуни та ін. – вміщувати в ізолюючі бокси і кожухи; необхідні отвори у звукоізолюючих кожухах робити у вигляді каналів, облицьованих зсередини звуковбираючими матеріалами; всі агрегати, які створюють надмірний шум внаслідок вихроутворення чи вихлопу повітря і газів (вентилятори, повітродувки, пневматичний інструмент і т.п.), обладнувати спеціальними камерами. Для зменшення шуму насосних установок їх необхідно влаштовувати на окремих фундаментах, на вібропоглинаючих прокладках з еластичними вставками у місцях з'єднань і з ізоляцією в стінах приміщення.

При правильному виборі і встановленні вентилятора і шумоглушитель можна створити повністю безшумну вентиляцію виробничих приміщень. Вентилятори звичайно працюють на великих швидкостях (до 2000 об/хв.), що веде до виникнення значних вібрацій. Шум вентиляційного агрегату поширюється в сусідні приміщення трьома основними шляхами: по вентиляційних каналах; крізь стіни, вікна чи інші огорожі; по конструкції приміщення у вигляді вібрацій. Для послаблення шуму треба обирати по можливості мал шумні вентилятори, встановлювати у повітроводах глушитель, здійснювати достатню звукоізоляцію вентиляційної камери і стінок повітроводів і при необхідності – віброізоляцію агрегату.

Зниження шуму можна також досягти акустичною обробкою приміщення [17]. Акустична обробка приміщення передбачає вкривання стелі та верхньої частини стін звукопоглинальним матеріалом. Внаслідок цього знижується інтенсивність відбитих звукових хвиль. Додатково до стелі можуть підвішуватись звукопоглинальні щити, конуси, куби, встановлюватись резонаторні екрани, тобто штучні поглиначі. Ефективність акустичної обробки приміщень залежить від звукопоглинальних властивостей застосовуваних матеріалів та конструкцій, особливостей їх розташування, об'єму приміщення, його геометрії, місць розташування джерел шуму. Акустична обробка дозволяє знизити шум на 8 дБА.

Заходи щодо зниження шуму слід передбачати на стадії проектування промислових об'єктів та обладнання. Особливу увагу слід звертати на винесення шумного обладнання в окреме приміщення, що дозволяє зменшити число працівників в умовах підвищеного рівня шуму та здійснити заходи щодо зниження шуму з мінімальними витратами коштів, обладнання та матеріалів.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано методики вимірювання глибини азотованого шару; визначення зносостійкості поверхні; визначення адгезійної міцності; визначення товщини азотованого покриття.

2. Досліджено вплив режимів комплексної іонно-плазмової обробки на фізико-механічні властивості поверхні фрези із швидкоріжучої сталі після проведення такого зміцнення.

3. Аналітично досліджено метод комплексної іонно-плазмової обробки, що поєднує в собі іонне азотування та подальше нанесення захисного покриття і встановлено умови забезпечення підвищення якості поверхневого шару та ресурсу роботи інструменту.

4. Проаналізовано метод комплексної іонно-плазмової обробки на рахунок забезпечення необхідної адгезії азотованого шару і виключення необхідності механічної обробки між двома послідовними операціями в технологічному процесі.

5. Встановлено вплив технологічних режимів азотування на міцність і адгезійну властивість зміцненого шару фрези із швидкорізальної сталі.

6. Розроблено технологічний процес промислового виробництва корпусу E6.021-02.01.002, з проробленням технологічних карт і додаткової документації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Марищак М.П. Підвищення стійкості фрез методом азотування : Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2024. С.150.
2. Васильченко Я. В. Шаповалов М. В. Оцінка характеристик конструкційної міцності різальних пластин та оптимізація технологій зміцнення за параметрами міцності. Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї — наука — виробництво : тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Чернігів, 2017. С. 104-105.
3. Сорока О. Б., Родічев Ю. М., Ковальов В. Д., Васильченко Я. В. Зміцнення твердосплавного різального інструменту для важкого машинобудування на основі поверхневої та об'ємної модифікації фізичними методами. Вісник Тернопільського Національного технічного університету ім. І. Пулюя. 2013. № 3 (71). С. 133-145.
4. Дослідження зносостійкості твердосплавного інструменту зміцненого іонним азотуванням / В.Г.Каплун, О.В.Снозик // Технологічний університет в системі реформування освітньої та наукової діяльності Подільського регіону: Тез. доп. наук.-практ. конф.- Хмельницький, 1995.- С.-118.
5. Особливості іонного азотування в безводневому середовищі / В. Г. Каплун, І. М. Пастух // Вісн. Технол. ун-ту Поділля. – 1997. – № 1. – С.14-18.
6. Strengthening of cutting instrument in glow-discharge plasma in hydrogen-free saturating mediums / V. G. Kaplun, P. V. Kaplun, E. A. Urbanyuk // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. Техн. науки. – 2007. – № 5. – С. 75-78.
7. Комплексні технології зміцнення деталей машин / В. Г. Каплун, Ю. І. Шалапко, П. В. Каплун // Вісн. двигунобудування : наук.-техн. журн. – Запоріжжя, 2007. – № 2. – С. 132-135.
8. Дослідження властивостей поверхневих шарів та залишкових напружень сталі X12 після азотування в тліючому розряді в безводневих

середовищах / В. Г. Каплун, П. В. Каплун, К. А. Паршенко // Вісн. Хмельниц. нац. ун-ту. Техн. науки. – 2009. – № 4. – С. 7-10.

9. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу зміцнення металів методом карбоазотування в тліючому розряді на зносостійкість / В. Г. Каплун, К. А. Паршенко, А. В. Паршенко // Пробл. трибології. – 2012. – № 3. – С. 117-122.

10. Пастух І.М., Здибель О.С. Проблематика моделювання процесу азотування в тліючому розряді // Вісник ХНУ. – 2005. – № 1. – С. 7–11. 342 С.

11. Пилипець М. І., Комар Р. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : метод. вказівки. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 58 с.

12. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.

13. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

14. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин : навчальний посібник. – К.: Вища школа, 1993. 556 с.

15. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань : навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

16. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудування : навч. посіб. Суми : Университетская книга, 2011. 557 с.

17. Стищенко Т. Є., Пронюк Г. В., Сердюк Н. М. та ін. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. Харків : ХНУРЕ, 2018. 336 с.