

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Металорізальні верстати та інструмент
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка методології вибору багатослойного композиційного покриття для підвищення ефективності лезової обробки важкооброблювальних сталей та сплавів

Виконав: студент 2 курсу, групи Мз-210м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та інструменти

Подосіновіков В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Глушко П.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, _____
 Факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізальні верстати та інструменти
 Ступінь вищої освіти Магістр
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Металорізальні верстати та інструменти
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

М. В. Фролов
 « 16 » 12 2021 року

ЗАВДАННЯ
 НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА

Подосіновікова Валерія Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка методології вибору багатослойного композиційного покриття ріжучої частини інструмента для підвищення ефективності лезової обробки важкооброблюваних сталей та сплавів

керівник проєкту (роботи) Фролов Михайло Володимирович, доцент, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» жовтня 2021 року №401

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

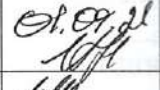
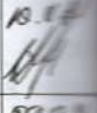
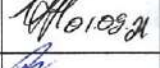

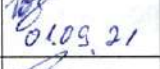

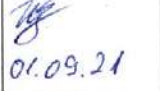

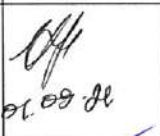
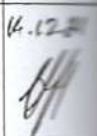
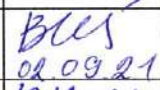



3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Матеріал зразка – 09Г2С; діаметр зразка 250мм; довжина зразка 1000мм; різець ISKAR, MWLNL2020K-06W, 20x20x125; ріжуча пластина SECO DURATOMIC, WNMG080408-MF4; матеріал ріжучої пластини TM2000; геометричні параметри різця: $\gamma=14^\circ$, $\alpha=6^\circ$ $\phi=95^\circ$ $\phi'=5^\circ$ $r=0,8\text{мм}$; верстат 163; покриття Ti-TiN-(Ti,Al)N.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз сучасних багатошарово-композиційних покриттів для підвищення стійкості інструменту; розробка методології вибору структури покриття для обробки важкооброблюваних сталей та сплавів; розробка методики планування, проведення експерименту та обробки експериментальних даних з дослідження впливу товщини та кількості шарів зносостійкого шару на стійкість металорізального інструменту; запропонувати структуру багатошарово-композиційного покриття з зносоструктурованим зносостійким шаром.

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

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прізвище консультанта
Загальні властивості та тенденції застосування багатофункціональних покриттів для ріжучого інструменту	Фролов М.В. доцент	 01.09.21	 01.09.21
Методологія вибору структури інструментального покриття	Фролов М.В. доцент	 01.09.21	 01.09.21
Багатошаровий наноструктурований зносостійкий шар	Танченко С.В. ст. викладач	 01.09.21	 10.09.21
Способи нанесення наноструктурних багатошарово-композиційних покриттів на ріжучий інструмент	Танченко С.В. ст. викладач	 01.09.21	 14.09.21
Методика планування, проведення експерименту та обробки експериментальних даних з дослідження впливу товщини та кількості шарів	Фролов М.В. доцент	 01.09.21	 14.12.21
Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	Шмирко В.І. доцент	 02.09.21	 07.12.21
Нормоконтроль	Матвеєнко Л.С. ст. викладач	 16.12.21	 16.12.21

7. Дата видачі завдання «01» вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Прізвище консультанта
1	Загальні властивості та тенденції застосування багатофункціональних покриттів для ріжучого інструменту	01.09.21-12.09.21	
2	Методологія вибору структури інструментального покриття	13.09.21-30.09.21	
3	Багатошаровий наноструктурований зносостійкий шар	01.10.21-17.10.21	
4	Способи нанесення наноструктурних багатошарово-композиційних покриттів на ріжучий інструмент	18.10.21-31.10.21	
5	Методика планування, проведення експерименту та обробки експериментальних даних з дослідження впливу товщини та кількості шарів	01.11.21-14.11.21	
6	Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	15.12.21-30.11.21	
7	Оформлення пояснювальної записки	01.12.21-08.12.21	
8	Оформлення презентації	09.12.21-16.12.21	

Студент

(підпис)

Керівник проекту

(підпис)

Подосяновіков В.Ю.

(прізвище та ініціали)

Фролов М.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ABSTRACT	7
ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	10
2 МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ.....	13
2.1 Подвійна роль інструментальних покриттів.....	13
2.2 Переваги застосування багатошарово-композиційних покриттів	16
2.3 Склад та архітектура багатошарово-композиційних покриттів.....	19
3 БАГАТОШАРОВИЙ НАНОСТРУКТУРОВАНИЙ ЗНОСОСТІЙКИЙ ШАР.....	28
3.1 Вплив структури зносостійкого шару на властивості багатошарово- композиційного покриття.....	28
4 СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ НАНОСТРУКТУРНИХ БАГАТОШАРОВО- КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ	35
4.1 Порівняння методів PVD та CVD для нанесення покриттів	35
4.1.1 Метод CVD.....	36
4.1.2 Метод PVD.....	38
5 МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ, ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ ТА КІЛЬКОСТІ ШАРІВ.....	41
5.1 Планування експерименту	41
5.2 Обробка результатів експерименту.....	44
5.3. Методика вимірювання площини зносу по задній поверхні інструменту.....	47
5.4. Методика нанесення багатошарових покриттів та регулювання їх товщин.....	50
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55

6.1 Аналіз потенційних небезпек	55
6.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки	56
6.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	59
6.4 Заходи пожежної безпеки.....	62
6.5 Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва.....	64
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	67

РЕФЕРАТ

ПЗ.: 73 с., 20 рис., 20 табл., 66 джерел.

Об'єкт дослідження – багатошарово-композиційні покриття ріжучого інструменту з наноструктурованим зносостійким шаром для обробки важкооброблюваних сталей та сплавів.

Мета роботи – розробка методології вибору структури багатошарово-композиційні покриття ріжучого інструменту та дослідження впливу товщини та кількості субшарів зносостійкого шару покриття на стійкість інструменту при обробці важкооброблюваних сталей та сплавів.

В роботі проведено аналіз структур існуючих багатошарово-композиційних покриттів. Розроблена методологія вибору структури покриття для обробки важкооброблюваних сталей та сплавів. Запропонована структура з наноструктурованим зносостійким шаром. Розроблена методика планування, проведення експерименту та обробки експериментальних даних з дослідження впливу товщини та кількості шарів зносостійкого шару на стійкість металорізального інструменту.

ШАР, СУБШАР, ПОКРИТТЯ, СТРУКТУРА,
НАНОСТРУКТУРОВАННИЙ, ТОВЩИНА ШАРУ, КІЛЬКІСТЬ ШАРІВ,
СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТУ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ

ABSTRACT

The object of research - multilayer-composite coating of a cutting tool with a nanostructured wear-resistant layer for processing hard steels and alloys.

The purpose of the work - to develop a methodology for selecting the structure of multilayer-composite coatings of cutting tools and study the effect of thickness and number of sublayers of wear-resistant coating layer on the stability of the tool in the processing of hard steels and alloys.

The analysis of the structures of the existing multilayer-composite coatings is carried out in the work. A methodology for selecting the coating structure for the processing of hard-worked steels and alloys has been developed. A structure with a nanostructured wear-resistant layer is proposed. A method of planning, conducting an experiment and processing experimental data to study the influence of the thickness and number of layers of the wear-resistant layer on the stability of the metal-cutting tool has been developed.

LAYER, SUBLAYER, COATINGS, STRUCTURE,
NANOSTRUCTURED, LAYER THICKNESS, NUMBER OF LAYERS,
STABILITY OF THE TOOL, MICROHARDNESS, WEARABILITY

ВСТУП

Сучасне автоматизоване машинобудівне виробництво приділяє велику увагу такому показнику, як стійкість ріжучого інструменту. Так як в авіаційному, ракетно-космічному, суднобудівному та машинобудівному виробництві часто використовують важкооброблювальні сталі та сплави, питання стійкості інструменту, а отже і економічності виробництва, стоїть дуже гостро.

Одним із шляхів підвищення стійкості інструменту є створення багатофункціональних покриттів на ріжучій частині інструменту. Найпопулярнішими багатофункціональними покриттями наприкінці ХХ століття, на початку ХХІ століття були одношарові покриття. Але структура таких покриттів не може в повній мірі забезпечити ефективне підвищення стійкості інструменту при одночасному забезпеченні комплексу інших функцій ріжучого інструменту, а саме, теплостійкості, стійкості до адгезії, зносостійкості. Саме тому в останні роки виробники почали використовувати багатошарово-композиційні покриття, які усувають усі недоліки одношарових покриттів. Але дослідження таких покриттів показує, що їх властивості значно залежать від їхньої структури. Найсучасніші покриття такого типу використовують новітні розробки у сфері нанотехнології.

Метою роботи є створення методології вибору структури багатошарово-композиційного покриття ріжучого інструменту та дослідження впливу товщини та кількості субшарів наноструктурованого зносостійкого шару покриття на стійкість інструменту при обробці важкооброблюваних сталей та сплавів.

Завданнями роботи є:

1. Аналіз сучасних багатошарово-композиційних покриттів для підвищення стійкості інструменту;

2. Розробка методологія вибору структури покриття для обробки важкооброблюваних сталей та сплавів;

3. Розробка методики планування, проведення експерименту та обробки експериментальних даних з дослідження впливу товщини та кількості шарів зносостійкого шару на стійкість металорізального інструменту;

4. Запропонувати структуру багатошарово-композиційного покриття з наноструктурованим зносостійким шаром.

1 ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Протягом останніх років співвідношення застосовуваних інструментальних матеріалів у механообробному виробництві значною мірою змінилося. Застосування інструментів із твердого сплаву, ріжучої кераміки та надтвердих інструментальних матеріалів збільшилося (від 25% і 5% до 80% та 15% відповідно). Використання інструментів зі швидкорізальної сталі знизилося (з 60-70% до 30-40%).

Збільшення популярності використання інструментів із твердого сплаву пояснюється хорошими фізико-механічними властивостями, при цьому одними з найбільш важливих властивостей є висока твердість та здатність її збереження при нагріванні до 900°C, також високі показники модуля пружності та межа міцності при стисканні.

Однак, незважаючи на позитивні властивості, твердий сплав має і явні недоліки: низькі значення показника межі міцності при згинанні та ударній в'язкості.

Для обробки різанням частіше використовують традиційні двофазні сплави WC-Co із вмістом кобальту 3-12% та розмірами карбідних зерен від 0,75мкм до 10мкм.

Тверді сплави WC-Co мають відносно високу ударну в'язкість, межу міцності при згинанні і хорошу тепло- і електропровідність. Однак сплави WC-Co при температурі понад 600°C мають знижений опір до корозії, в той же час ці тверді сплави мають високу схильність до адгезії зі стружкою оброблюваного матеріалу при механічній обробці.

Для покращення експлуатаційних показників інструментів із твердого сплаву виробники різального інструменту все частіше стали застосовувати технології нанесення багатофункціональних покриттів. На рис.1.1 [1]

представлені різні інструментальні матеріали та рекомендовані зони режимів обробки для цих матеріалів: А) - швидкорізальна сталь; В) – керамічні матеріали С) – швидкорізальна сталь із покриттям.

З рисунка можна побачити, що для швидкорізальної сталі з покриттям зона рекомендованих режимів різання більша ніж для матеріалів без покриття, що дозволяє використовувати такий інструмент для обробки більшого діапазону різних матеріалів на різних режимах.

На практиці використання багатофункціональних покриттів дозволяє вирішити надзвичайно важливі проблеми для машинобудівного виробництва, серед них:

- Підвищення продуктивності обробки заготовок з різних конструкційних матеріалів;
- підвищення періоду стійкості різального інструменту (часу роботи інструменту до відмови), що дозволяє суттєво економити дорогі матеріали, що використовуються при виробництві різальних інструментів і, відповідно, скоротити витрати на інструмент;
- підвищення якості та точності обробки за рахунок зниження контактної напруги, поліпшення теплового стану інструменту, зниження схильності інструментального матеріалу до адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом.

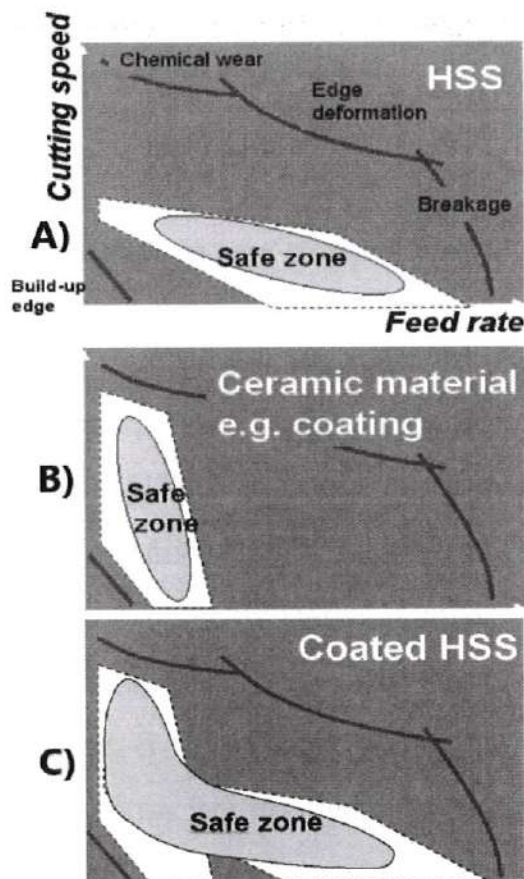


Рисунок 1.1 – Зони рекомендованих режимів обробки для матеріалів без покриття (А, В) та з покриттям (С).

Існуючі та перспективні покриття для ріжучого інструменту та їх застосування представлені на рис. 1.2.

Оброблювальний матеріал	Існуючі покриття	Перспективні покриття
steel	TiN, TiAlN, TiCN	Al ₂ O ₃ , SUPERNITRIDES
stainless steel	TiN, TiAlN, TiCN	Al ₂ O ₃ , SUPERNITRIDES, cBN
cast iron	TiN, TiAlN	Al ₂ O ₃ , SUPERNITRIDES
nonferrous materials	TiN, TiAlN	diamond, TiB ₂
heavy duty materials	TiN, TiAlN	SUPERNITRIDES, cBN

Рисунок 1.2 – Існуючі та перспективні покриття та матеріали які ними оброблюються.

2 МЕТОДОЛОГІЯ ВИБОРУ СТРУКТУРИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

2.1 Подвійна роль інструментальних покриттів

Інструментальні покриття можна розглядати як «проміжне технологічне середовище» (ПТС) між інструментальним і оброблюваним матеріалами, яка виконує подвійну роль [2]. З одного боку, покриття може підвищувати такі властивості інструментального матеріалу як твердість, теплостійкість, зносостійкість, фізико-хімічну пасивність по відношенню до матеріалу, що обробляється. З іншого боку, за допомогою покриття можна сприятливо впливати на контактні процеси та параметри різання. Зокрема покриття може сприяти зниженню тертя в областях фрикційного контакту і зменшувати потужність фрикційних джерел тепла, підвищувати температурний поріг початку адгезії, знижувати активність дифузійних процесів, що дозволяє зменшити інтенсивність зношування інструменту.

З іншого боку, покриття здатне виконувати «бар'єрні функції» між інструментальним і оброблюваним матеріалами, тобто, сприяти зниженню інтенсивності теплового потоку в інструмент, гальмувати дифузію між інструментальним та оброблюваним матеріалами тощо.

На рис. 2.1 представлено узагальнене уявлення про подвійну природу покриттів на робочих поверхнях інструменту.

Основні вимоги, які пред'являються покриттям, враховують умови роботи інструменту, тобто, його службове призначення. Покриття повинні мати властивості представлені в табл. 2.1.

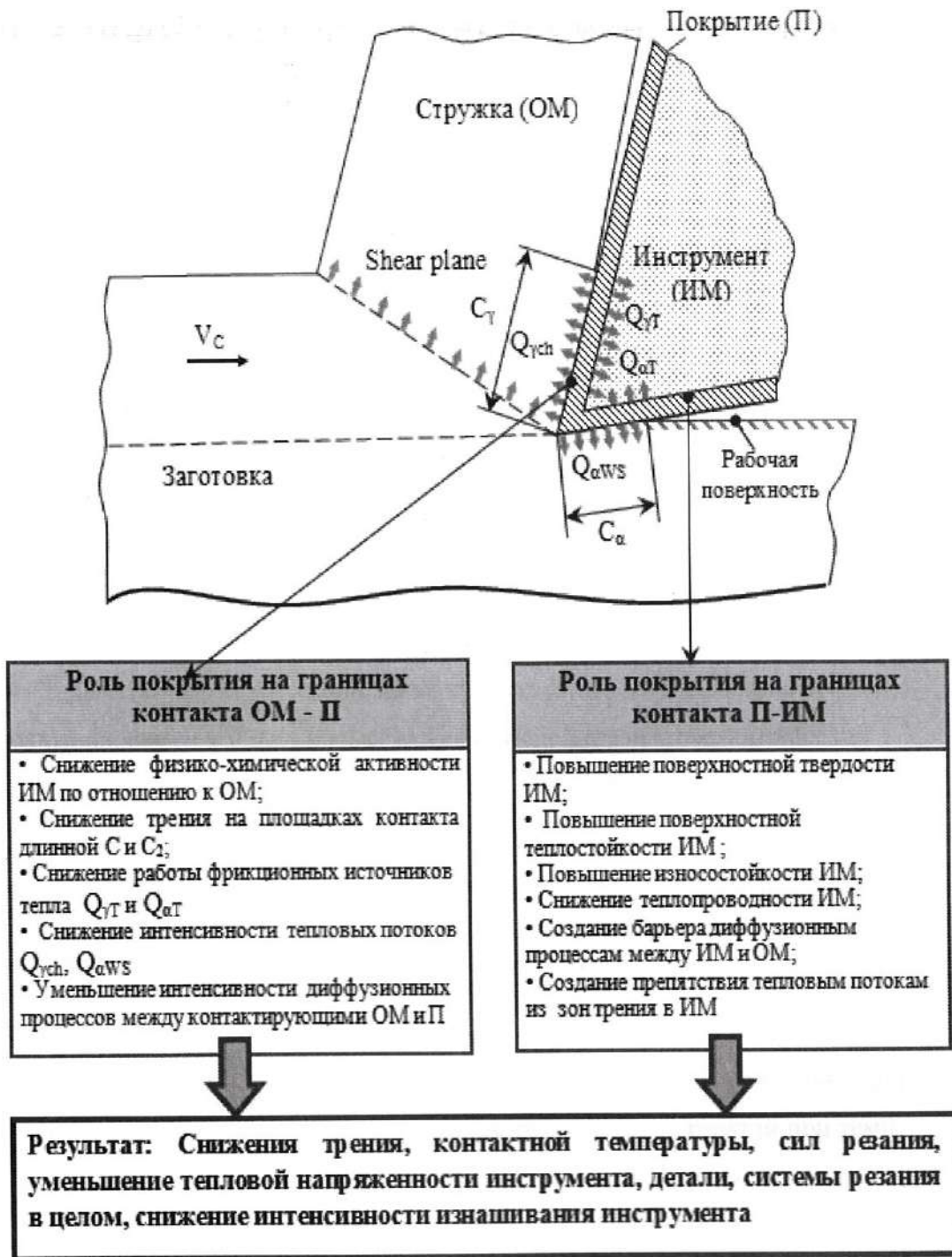


Рисунок 2.1 - Подвійна природа покриттів на робочих поверхнях інструменту: Q_p , Q_3 , Q_{m3} – теплові потоки в інструмент та деталь від фрикційних джерел тепла; C_1 та C_2 – довжини контакту по передній та задній поверхнях інструменту. ИМ – інструментальний матеріал; ОМ – оброблюваний матеріал; П – покриття.

Таблиця 2.1 – Вимоги до інструментального покриття.

Загальні функціональні	Пов'язані зі службовим призначенням покриття	Пов'язані з необхідністю забезпечення високої міцності адгезії покриття із субстратом
1) Покриття має бути стійким проти корозії та окислення 2) Зберігати свої властивості при високих температурах 3) Мати мінімальну кількість дефектів 4) Мати високу межу стійкості	1) Максимальна відмінність кристалохімічних структур покриття та оброблюваного матеріалу 2) Максимально високий температурний поріг початку адгезії та низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом 3) Мінімальну здатність до дифузійного розчинення в оброблюваному матеріалі 4) Твердість щонайменше ніж у 1.5-2 рази перевищує твердість інструментального матеріалу	1) Максимальна подібність кристалохімічних параметрів покриття та інструментального матеріалу 2) Мінімальна відмінність фізико-механічних та теплофізичних властивостей матеріалу покриття та інструментального матеріалу 3) Мінімальну ймовірність виникнення твердофазних дифузійних реакцій при температурі різання між матеріалом покриття та інструментальним матеріалом

Крім того, специфічні вимоги до інструментального матеріалу із покриттям забезпечують єдність композиційного тіла. У цьому випадку матеріали покриття та інструменту повинні мати:

- спорідненість кристалохімічної будови, при якій можливе забезпечення міцного адгезійного зв'язку між ними;

- оптимальне співвідношення основних фізико-механічних та теплофізичних характеристик.

2.2 Переваги застосування багатошарово-композиційних покриттів

Широке застосування у виробництві інструменту отримали моношарові покриття на основі карбідів, нітридів, карбонітридів тугоплавких металів IV-VI груп Періодичної системи елементів та алюмінію - TiN, TiC, Ti(CN), TiB₂, AlN [3-6]. Деякі із зазначених сполук та їх властивості вказані в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Види моношарових покриттів та їх властивості

Вид покриття	Властивості
TiN	<ul style="list-style-type: none"> - відносно проста технологія отримання - невисока вартість вихідних матеріалів (титан майже на порядок дешевший від інших тугоплавких металів, азот – найбільш доступний, дешевий і безпечний у порівнянні з іншими реакційними газами) - твердість 24ГПа - хімічна пасивність по відношенню до багатьох оброблюваних матеріалів - температура окиснення 550-600°C.
TiCN	<ul style="list-style-type: none"> - Вища твердість і низький коефіцієнт тертя в порівнянні з нітридом титану - є досить крихким - залежно від відсоткового співвідношення реакційних газів у робочому обсязі (азот і вуглецевмісні сполуки) в процесі формування покриття вдається отримувати склади з властивостями, що змінюються. - Часто наноситься зі збільшенням частки вуглецю від серцевини до поверхні багатошарового покриття.
TiC	<ul style="list-style-type: none"> - характеризується гарною зчеплюваністю з основою - високий опір проти абразивного та адгезійного зносу в парі зі сталлю, але не запобігає дифузійній взаємодії з нею.

CrN	<ul style="list-style-type: none"> - має високу пластичність - хороші трибологічні властивості - хімічна інертністю до кольорових металів та сплавів. - сприяє зменшенню налипання на різальний інструмент м'яких металів, таких як алюміній, мідь та сплавів на їх основі. - висока температурна стійкість і опір до окислення роблять дане покриття придатним для використання при обробці конструкційних та нержавіючих сталей, що не містять великої кількості хрому.
ZrN	за властивостями та областями застосування аналогічно покриттю TiN, але має більш високу твердість і, як наслідок, нижчу пластичність.

У табл.2.3 вказані та обґрунтовані матеріали, які найчастіше застосовуються для створення багатофункціональних покриттів.

Таблиця 2.3 - Матеріали для створення багатофункціональних покриттів та їх властивості

Матеріал	Властивості
Cr	<ul style="list-style-type: none"> - підвищує трибологічні властивості - підвищує стійкість до окислення - підвищує мікротвердість при підвищеній температурі - зменшує середню швидкість кавітації - зменшує абразивний знос - зменшує коефіцієнт тертя - зменшує шорсткість - зменшує розміри кристалів
Al	<ul style="list-style-type: none"> - підвищує мікротвердість - підвищує термічну стабільність - підвищує хімічну стабільність - підвищує стійкість до окислення - підвищує модуль пружності - підвищує температуру окислення - зменшує дифузію кисню - зменшує розміри зерен - зменшує коефіцієнт тертя

	- зменшує розмір зерен
Ti	- підвищує зносостійкість - зменшує коефіцієнт тертя
Si	- покращує трибологічні властивості - підвищує стійкість до окислення - підвищує мікротвердість - сприяє формуванню наноструктури - підвищує стійкість до температурного окиснення - зменшує коефіцієнт тертя
Zr	- підвищує стійкість до тендітного руйнування - підвищує термостабільність - підвищує тріщиностійкість
Nb	- підвищує температуру окислення - підвищує мікротвердість

Однак представлені покриття мають недоліки, притаманні більшості моношаровим покриттям, вони пов'язані з тим, що зносостійкі покриття на інструменті повинні виконувати подвійну функцію розглянуту вище, яку представлені моношарові покриття зазвичай не забезпечують. Зокрема, зазначені вище нітридні покриття часто мають стовпчасту структуру, внаслідок чого характеризуються відносно невисокою механічною міцністю та низькою адгезією до інструментального матеріалу. Це призводить до відшаровування покриття та його руйнування під впливом високих термомеханічних навантажень, що виникають у процесі експлуатації інструменту [3,7,8].

Одним з перспективних напрямів удосконалення покриттів, спрямованих на збільшення зносостійкості інструменту з твердого сплаву, є застосування багатокomпонентних композиційних покриттів на основі подвійних систем (Ti,Al)N, (Ti,Zr)N, (Ti,Nb)N, (Ti,Hf)N, (Ti,Mo)N [3-6], [9-16] і потрійних сполук нітридів (Ti,Al,V)N, (Ti,Zr,C)N [3], [4], [18-21].

Найбільшою мірою функціональним вимогам до покриття ріжучого інструменту відповідають багатошарово-композиційні покриття з шарами різного функціонального призначення.

2.3 Склад та архітектура багатошарово-композиційних покриттів

Покриття багатошарово-композиційної архітектури формують відповідно до принципів функціональності кожного з шарів, включаючи верхній та нижній шари, що контактують з оброблюваним та інструментальним матеріалами. Оптимізацію структури зазвичай виконують шляхом варіювання розташуванням шарів, їх складом (фізичними властивостями) та параметрами (товщина, кількість шарів), а також на основі спеціальних досліджень параметрів інструменту з покриттям під час різання [2]. Архітектура подібних покриттів містить кілька шарів, що мають строге функціональне призначення.

На основі аналізу функцій покриття, як ПТС між інструментальним та оброблюваним матеріалами, можна сформулювати функціональні вимоги до основних елементів багатошарового покриття [2]:

- адгезійний шар (3) повинен мати максимально подібну кристалохімічну будову по відношенню до матеріалу субстрату (4) (інструментального матеріалу) і забезпечувати міцну адгезію між ними;
- проміжний шар (2) повинен виконувати функції зниження тертя (антифрикційні функції), підвищення опірності інструментального матеріалу до високотемпературної корозії (антикорозійні функції), зменшення тепла, що передається від фрикційних джерел, або інтенсивність дифузії між інструментальним і оброблюваним матеріалами (бар'єрні функції);

• зносостійкий шар (1) повинен мати максимальну фізико-хімічну пасивність по відношенню до оброблюваного матеріалу і підвищувати опірність зношування контактних площин інструменту.

Для покращення адгезії між покриттям та основою зазвичай використовують дуже тонкі шари металу (наприклад, Ti, Cr, Al) або шари нітриду металу (TiN, CrN, ZrN), які вводяться між матеріалами покриття та субстрату. Більш товсті проміжні шари різного функціонального призначення (трибопасивні, зносостійкі, тощо) представляють на основі систем Ti-N, Cr-N, Ti-Al-N, Ti-Cr-N, Ti-Al-Cr-N та ін.

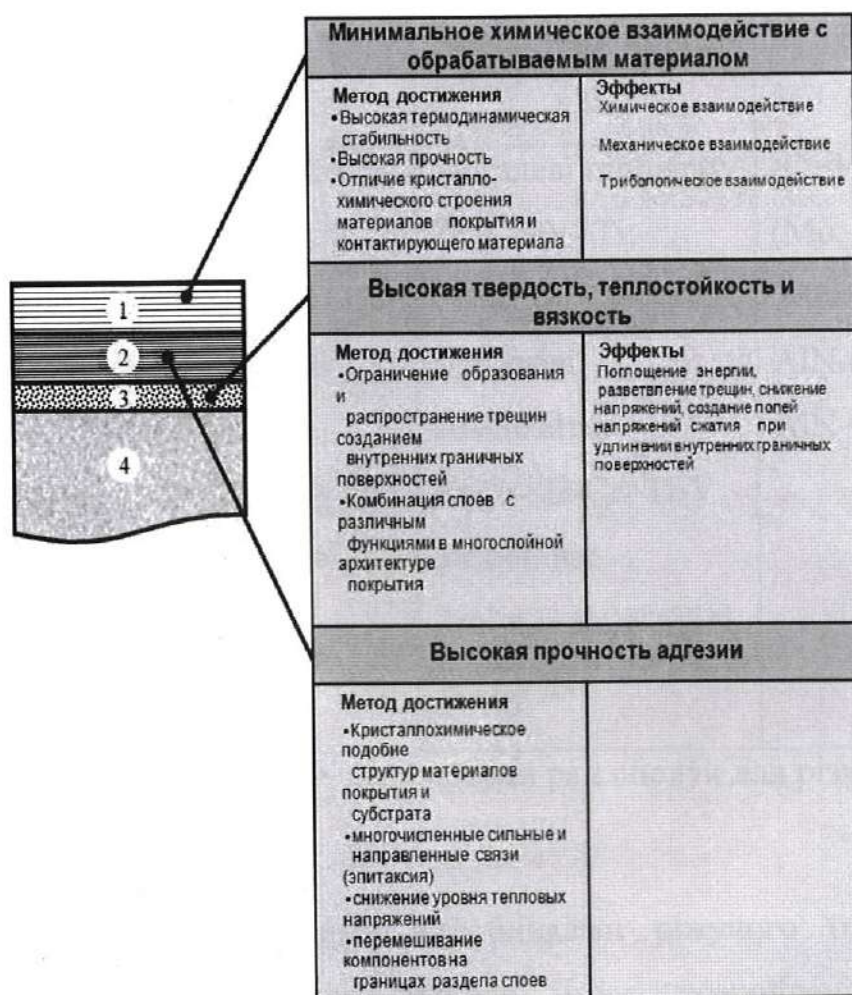


Рисунок 2.2 - Систематизація загальних вимог до покриття для різального інструменту, виходячи з його подвійної природи: 1 – зносостійкий шар; 2 – проміжний шар; 3 – адгезійний підшар; 4 – субстрат (інструментальний матеріал).

У верхній частині багат шарового-композиційного покриття, як правило, розташовуються тверді корозійностійкі шари, що дозволяють зменшити тертя, блокувати теплові потоки і дифузію елементів з оброблюваного матеріалу в інструментальний і навпаки. Рекомендації щодо вибору кращих складів елементів багат шарово-композиційних покриттів та основні вимоги до них надані у табл.2.4. Рекомендації складені на основі аналізу джерел [9,17,18].

Таблиця 2.4 - Рекомендації щодо вибору кращих складів елементів багат шарово-композиційних покриттів та основні вимоги до них.

Зносостійкий шар «1»	Адгезійний підшар «3»	Проміжний шар «2»
<p>CrN>CrC>CrB>VN>ZrN>ZrC>ZrB>TiN>TiC>TiB₂>HfB₂;</p> <p>Карбіди, нітриди, карбо-нітриди, бориди:</p> <p>(Ti,Cr)>(Ti,Mo)>(Ti,Al)>(Ti,Zr)>(Zr,Nb)>(Ti,Nb,Cr)>(Ti, Cr, Al)>(Ti, Zr, Al)</p>	<p>Металеві підшари:</p> <p>Zr>Cr>V>Ti;</p> <p>Металеві композити:</p> <p>Zr-Cr>Ti-Cr>Ti-V</p> <p>З'єднання:</p> <p>ZrN>(Ti,Cr)N>TiN>(Ti,V)N</p>	<p>-C>MoS₂>(Mo, Ti)S_x>Mex(JO₃)_y>AlN-(Ti,Al)N>AlN-CrN</p>

TiB₂ > HfB₂ > TiC >..... – переважний ряд сполук для різних елементів (у міру зростання).

В даний час провідними виробниками ріжучого інструменту - Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Sandvik, Iscar, розроблені зносостійкі покриття останнього покоління на основі концепції багат шарово-композиційної архітектури з шарами функціонального призначення для нанесення на багатогранні змінні пластини з твердих сплавів. Дані щодо

архітектури та сфери застосування багат шарових-композиційних покриттів останнього покоління представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Склади та архітектура багат шарових-композиційних покриттів останнього покоління.

Архітектура та склад покриття	Галузь застосування		Розробник
TiN Al ₂ O ₃ TiCN Carbide	Точіння сталі P01-P20	v=200-350 м/хв	Mitsubishi Carbide Japan
	Точіння сталі P10-P20	v=200-300 м/хв	
	Точіння сталі P20-P30	v=100-200 м/хв	
	Точіння сталі P30-P40	v = 100-200 м/хв	
	Фрезерування чавуну K01-K20	v=150-250 м/хв	
	Точіння чавуну, в тому числі з ЧШГ K10-K20	v=150-300 м/хв	
	Точіння нержавіючої сталі M10-M20	v=130-250 м/хв	
Фрезерування сталі P01-P20	v=150-250 м/хв		
TiN (MT CVD) TiN/Al ₂ O ₃ TiCN Carbide	Точіння високолегованих жаростійких, корозійностійких та нержавіючих сталей M10-M30		Sandvik Coromant Sweden
TiN Al ₂ O ₃ TiC TiCN Carbide	Точіння чавуну (у тому числі ЧШГ) K01-K10	v=200-375 м/хв	Kennametal- Hertel USA Німеччина
	Точіння чавуну K20-K30	v=160-300 м/хв	
	Точіння конструкційних P30-P40 та		

	нержавіючих M20-M30 сталей	
TiN TiCN TiC Carbide	Точіння високолегованих сталей аустенітного класу M20-M30 Фрезерування конструкційних P10-P30 та нержавіючих M10-M30 сталей	Kennametal- Hertel USA Німеччина
TiN Al2O3 TiC TiCN Carbide	Точіння сталі P01-P10 Точіння сталі P10-P30 Точіння конструкційної P01-P10 та нержавіючої M10-M30 сталей Точіння нержавіючої сталі M10-M30 Точіння чавуну K01-K10 Точіння чавуну K10-K20 Фрезерування конструкційної P20-P30 та нержавіючої M20-M30 сталей Фрезерування сталі P20-P35 Фрезерування чавуну K01-K10 Фрезерування чавуну K20-K30	Karloy S.Korea

У табл.2.6 показані дослідження зміни стійкості інструментів при обробці різних матеріалів інструментами з твёрдосплавними пластинами, швидкорізальною сталлю та з багатошарово-композиційним покриттям і без покриття.

Дослідження різних комбінації покриттів і матеріалів різальної частини інструменту при обробці різних сталей і сплавів показало підвищення стійкості інструментів з покриттям в 1,5-3,5 рази, при цьому орієнтовна швидкість різання збільшилася в середньому на 15-25 м/хв.

Таблиця 2.6 – Дослідження щодо збільшення стійкості інструментів із покриттям

Матеріал, що обробляється	Покриття	Рекомендований інструментальний матеріал	Орієнтовне значення швидкості різання V, м/хв.		Підвищення стійкості інструменту при нанесенні покриття
			без покриття	з покриттям	
Корозійностійкі сталі феритного, мартенситного класів (типу 08X13, 12X13, 1X12H2BMB)	(Ti, Cr)-(Ti, Cr) N-TiN;	ВК6-М, ВК6, ТТ10К8-Б	140-160	170-200	2,5-3,5
Корозійностійкі, жароміцні сталі аустенітного класу (типу X18H10T, X18H12T)	(Ti,Zr)-(Ti,Zr)N-ZrN; Zr-(Nb, Zr)-ZrN; Ti-(Ti,Al)N-Al ₂ O ₃ .	ВК6-М, ВК6, ТТ10К8-Б	120-150	155-180	2,0-2,8
Жаростійкі хромонікелеві сталі X12H20T3P		ВК6, ТТ10К8-Б	10-20	15-28	1,5-2,2
Жаростійкі хромонікелеві сталі X12H20T3P		ВК6, ТТ10К8-Б	10-20	60-70	1,8-2,2
Сплави на основі титану (типу ВТ1, ВТ3, ВТ14, ВТ20, ВТ22)	Zr-(Nb, Zr)-ZrN; Cr-(Mo,Cr)N-CrN; Zr-(Zr,Cr)N-(Zr,Cr,Al)N.	ВК6	40-50	55-80	1,8-2,5

Жароміцні деформовані сплави (типу ХН60В, ХН77ТЮ, ХН77ТЮР, ХН35ВТЮ)	(Ti,Cr)-(Ti,Cr)N-TiN; (Ti, Cr)-(Ti, Cr, Al)N-(Ti,Al)N Cr-(Mo,Cr)N-CrN;	ВК6, ТТ10К8-Б	20-45	25-60	1,8-2,5
---	--	------------------	-------	-------	---------

Різні концепції розробки багатошарово-композиційного покриття показано на рис. 2.3.

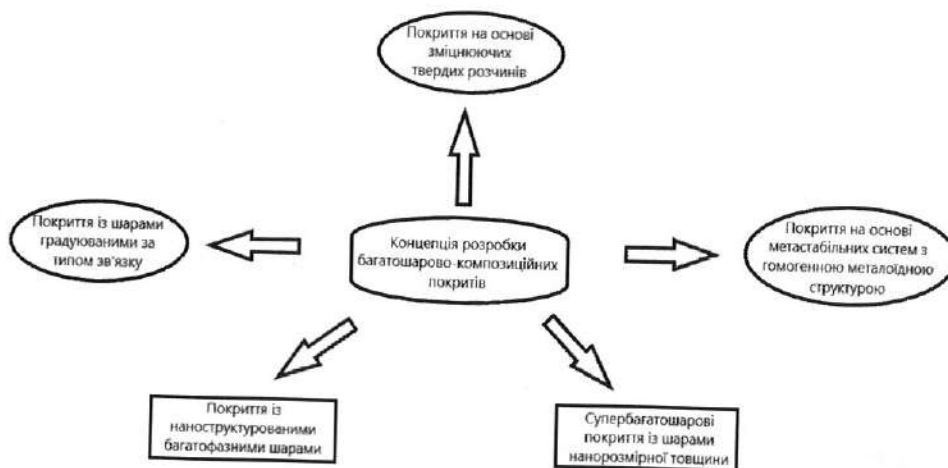


Рисунок 2.3 - Концепції розробки багатошарово-композиційного покриття.

Аналіз основних типів багатошарових покриттів, що використовуються в машинобудуванні, дозволяє класифікувати покриття на основні групи за товщиною окремих шарів та субшарів:

- макрометричні з товщиною $10^{-2} \dots 10^{-4}$ мм.
- мікрометричні з товщиною $10^{-5} \dots 10^{-7}$ мм;
- нанометричні з товщиною $10^{-8} \dots 10^{-10}$ мм.

Кожен із шарів багат шарово-композиційного покриття може мати як моношарову (мікроструктуровану), так і багат шарову (наноструктуровану) архітектуру.

Наноструктуровані багат шарові покриття можна класифікувати на три групи, як показано на рис. 2.4.

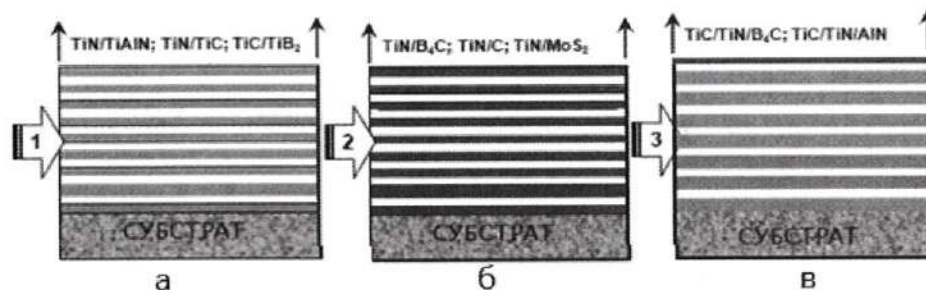


Рисунок 2.4 – Класифікація багат шарово-композиційних наноструктурованих покриттів за архітектурою: а – із шарами з однаковими хімічними зв'язками; б – із матеріалів із сильною відмінністю хімічних зв'язків та структури; в – із внутрішніми підшарами нанометричної товщини [14].

Різні комбінації шарів (види структур) багат шарово-композиційного покриття показані на рис. 2.5.

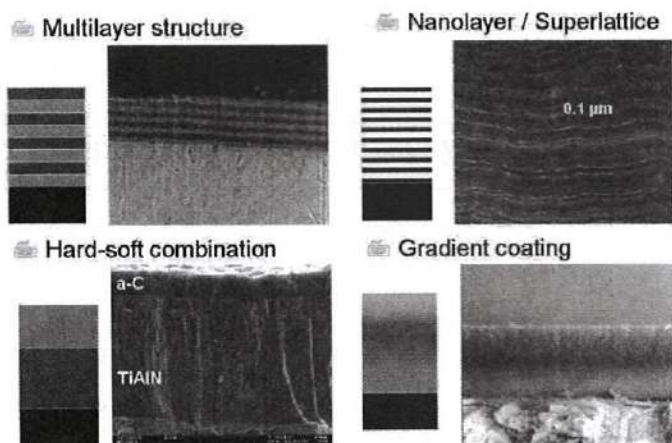


Figure 5. Microstructure coating designs

Рисунок 2.5 - види структур багат шарово-композиційного покриття

Дані роботи [22] вказують, що ефективність опору покриття різним видам зношування в процесі різання залежить від параметрів та властивостей покриття, які в свою чергу залежать від матеріалу та способу нанесення покриття. У табл. 2.7 наведено рекомендації щодо вибору параметрів та властивостей покриття залежно від матеріалу та способу нанесення покриття для ефективного опору різним видам зносу. Дані наведено для токарної обробки аустенітної сталі.

Таблиця 2.7 - Рекомендації щодо вибору матеріалу та технології нанесення покриття

Зношування	Параметри та властивості покриття	Матеріал покриття	Технологія нанесення
Абразивне	Твердість		
	Товщина покриття		+
Адгезійне	Адгезія з оброблюваним матеріалом (злипання)	+	
	Опір адгезії	+	+
Окислення	Низький коефіцієнт тертя	+	
	Опір окисленню	+	+
Дифузійне	Дифузійний бар'єр	+	+
Втомлення	Термостійкість		
	Опір розтягуванню/стиску		

3 БАГАТОШАРОВИЙ НАНОСТРУКТУРОВАНИЙ ЗНОСОСТІЙКИЙ ШАР

3.1 Вплив структури зносостійкого шару на властивості багатошарово-композиційного покриття

Виходячи з розглянутих вище концепцій подвійної природи покриття, рекомендації щодо вибору матеріалів, структури та властивостей багатошарово-композиційного покриття ми обираємо наступну архітектуру багатошарово-композиційного покриття, що розробляється (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 - Архітектура досліджуваного багатошарово-композиційного покриття

Тип шару	Зносостійкий шар «1»	Адгезійний підшар «3»	Проміжний шар «2»
Структура шару	Багатошаровий	Моношаровий	Моношаровий
Склад	CrN>CrC>CrB>VN> ZrN>ZrC>ZrB>TiN> TiC>TiB2>HfB2; Карбіди, нітриди, карбо-нітриди, бориди: (Ti,Cr)>(Ti,Mo)>(Ti, Al)>(Ti,Zr)>(Zr,Nb) >(Ti,Nb,Cr)>(Ti, Cr, Al)> (Ti, Zr, Al)	Металеві підшари: Zr>Cr>V>Ti; Металеві композити: Zr-Cr>Ti-Cr>Ti-V З'єднання: ZrN>(Ti,Cr)N>TiN> (Ti,V)N	-C> MoS2> (Mo, Ti) Sx> Mex(JO3)y> AlN-(Ti,Al)N> AlN-CrN
Товщина	Субшар 1...100 нм	Шар 50...100 нм	Шар 1...3 мкм

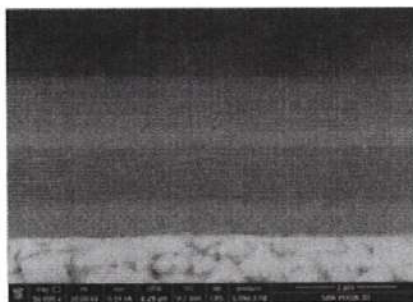


Рисунок 3.3 – Мікроструктура покриття $Zr-ZrN-(ZrNbCrAl)N$ на поперечному шліфі (збільшення $\times 50000$)

Оскільки товщини адгезійного та проміжного шарів багатошарово-композиційного покриття є постійними і за деякими відомостями [26] не мають істотного впливу на стійкість інструменту при обробці, в першу чергу передбачається вивчити вплив на стійкість саме зносостійкого наноструктурованого шару, систематизованої інформації про що, у розглянутих джерелах недостатньо. Проаналізована апріорна інформація [14,27,28] в основному спирається на дослідження стійкості зносостійкого покриття, нанесеного безпосередньо на субстрат. При цьому не можна однозначно сказати, наскільки ці результати можна поширити на покриття, що мають у своєму складі адгезійний і проміжний шари.

Ідея збільшення міцності покриттів висунута Коелером в 1970 р. [29], і полягає у створенні наноструктурованих покриттів з субшарами металів, що чергуються. Ці субшари сильно розрізняються пружними властивостями і близькими за величиною коефіцієнтами термічного розширення. Товщина окремих субшарів має бути настільки малою, в межах 10нм, щоб усередині них не з'являлося джерело дислокацій. Дислокації, які під дією напруги рухалися б до межі розділу з більш м'якого шару, відштовхувалися б силами, що створюються пружними напругами в більш твердому шарі.

У випадку використання багатошарових наноструктурованих покриттів, було досягнуто двократне збільшення твердості, тобто, досягнуто твердості $>40\text{ГПа}$ в порівнянні з моношаровими покриттями того ж складу.

Максимальна твердість, отримана для TiN/NbN з товщиною субшарів 4нм, становила 50ГПа, для TiN/VN - близько 55 ГПа [30].

Крім складу шару та товщини окремих субшарів, важливим показником, що впливає на властивості зносостійкого шару є кількість субшарів. Загальна кількість субшарів шару вибирається в залежності від поставлених технологічних завдань і в ряді випадків може досягати двохсот.

Ряд дослідження показують, що кількість субшарів, як і товщина субшару, впливає на мікротвердість зносостійкого шару. Як приклад на рис. 3.4 наведено криві залежності мікротвердості багат шарових наноструктурованих зносостійких шарів від кількості субшарів [31].

У багат шаровому шарі з субшарами в кількості 60шт, з різними розмірами кристалічних решіток, при їх товщині близько 30нм мікротвердість становить близько 60ГПа, що пояснюється тим, що зерна не встигають вирости і залишаються в межах 15...50нм.

Зі зменшенням товщини субшарів розміри зерен зменшуються, і твердість зносостійкого шару стає більшою, досягаючи для TiN-NbN і TiN-ZrN 70ГПа при товщині субшарів близько 10нм. Твердість одношарових покриттів цих матеріалів знаходиться в межах 20...30 ГПа.

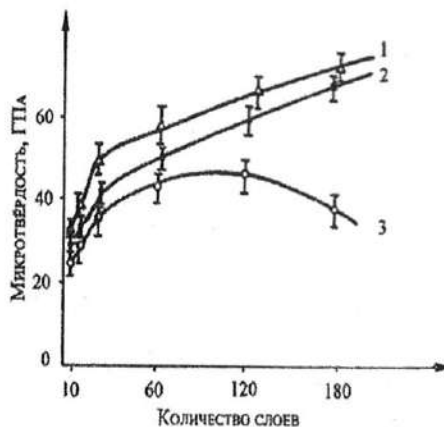


Рисунок 3.4 - Залежність мікротвердості від кількості субшарів наноструктурованих зносостійких шарів у покриттях TiN-NbN (1), TiN-ZrN (2) та TiN-CrN (3), що мають однакову товщину шару 2 мкм.

Тобто причиною збільшення твердості та міцності багатошарового наноструктурованого шару є велика кількість меж розділу між субшарами, при цьому надтвердість зазвичай спостерігається при товщині субшару 3-10 нм і зазвичай не спостерігається при значеннях товщини понад 10 нм.

В даний час активно проводяться дослідження властивостей різних матеріалів та їх поєднань з метою досягнення оптимальних характеристик покриття з урахуванням конкретних умов застосування. Однак відомостей про практичне використання наноструктурованих покриттів для збільшення стійкості різних виробів (різальних інструментів, деталей машин тощо) поки що вкрай мало.

Існуючі дослідження показують, що хороші результати показали вакуумно-дугові багатошарові покриття CrN/TiN та TiN/AlTiN, нанесені на інструменти з твердого сплаву. При швидкісному точінні сплаву Inconel 718 і швидкісному фрезеруванні алюмінію покриття TiN/AlTiN показало себе трохи краще. Оптимальна товщина субшарів склала менше 8 нм [32].

Дуже вдалим виявилось нанесення багатошарових наноструктурованих покриттів TiAlYN/VN з товщиною субшарів 3,6 нм на кінцеві твердосплавні фрези діаметром 8 мм. При обробці сталі EN24 (HRC38), в умовах: швидкість різання 385 м/хв, подача 0,2 мм/об., глибина 3,8 мм, стійкість фрези без покриття склала 7 хв, з покриттям TiCN – 53 хв, з покриттям TiAlYN/VN – 141 хв [33].

Також при огляді літератури [34-38] були розглянуті дослідження, в яких товщина окремих субшарів перевищує рекомендовану товщину в 10 нм для забезпечення надтвердості. Це свідчить про те, що рекомендована товщина субшару впливає лише на мікротвердість зносостійкого шару і не впливає на інші властивості покриття. Необхідно визначити які властивості шару, крім мікротвердості, впливають на стійкість інструменту та якими

параметрами структури наноструктурованого багатошарового зносостійкого шару вони забезпечуються.

У табл. 3.2 зазначені роботи та товщини шарів та субшарів різних зносостійких багатошарових наноструктурованих покриттів.

Таблиця 3.2 - Деякі дослідження різних товщин субшарів зносостійких багатошарових наноструктурованих покриттів

Розглянута робота	Структура досліджуваного покриття	Кількість субшарів зносостійкого шару	Середня товщина субшарів зносостійкого шару
О.С. Верещака [37]	Наноструктурований Ti-TiN-(Ti,Al,Si)N	39-180 шт.	43-85нм.
О.В. Соболев [34]	Багатошарове двофазне наноструктуроване покриття ZrN/CrN	12 шт.	50 нм.
		24 шт.	13 нм.
О.С. Верещака [35]	Наноструктурний багатошаровий композит (Zr,Nb)N-(Zr,Al,Nb)N	31 шт.	97нм
	Наноструктурний багатошаровий композит Ti-TiN-(Ti,Al)N	48 шт.	66нм
	Наноструктурний багатошаровий композит (Zr,Nb)N-(Cr,Zr,Nb,Al)N	50 шт.	80нм
О.С. Верещака [36]	Наноструктурний багатошаровий композит Ti-TiN-(Ti,Cr,Al)N	80 шт.	25нм

М.Г. Оганян [38]	Наноструктурный багатошаровый композит Zr-ZrN-(Cr,Zr,Al)N	39 шт.	57 нм
		41 шт.	85 нм
		73 шт.	65 нм
		73 шт.	43 нм

4 СПОСОБИ НАНЕСЕННЯ НАНОСТРУКТУРНИХ БАГАТОШАРОВО-КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА РІЗУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ

4.1 Порівняння методів PVD та CVD для нанесення покриттів

Наноструктурні покриття можна наносити магнетронним та вакуумно-дуговим способами на існуючому серійному промисловому устаткуванні. Тому немає жодних перешкод, щоб у найближчому майбутньому технології отримання наноструктурних покриттів активно використовувалися на машинобудівних заводах для отримання багатофункціональних покриттів для обробки великої кількості різних матеріалів на різних режимах. Різні способи нанесення наноструктурованих покриттів показано на рис. 4.1 [39].

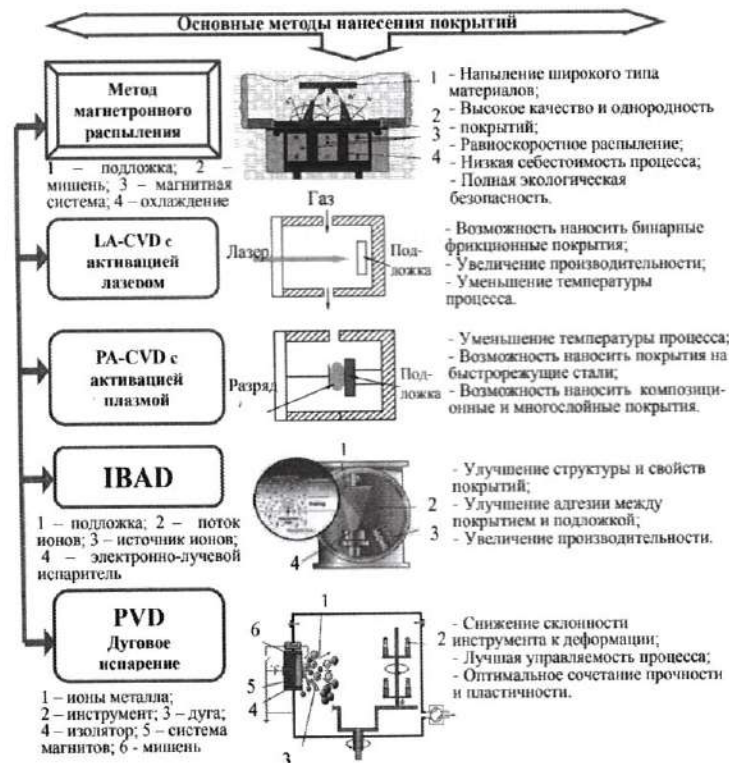


Рисунок 4.1 – Методи нанесення наноструктурованих покриттів.

Найбільшу популярність при нанесенні покриття отримали методи PVD і CVD.

4.1.1 Метод CVD

Скорочення CVD використовується для позначення процесу хімічного осадження з парової фази. Покриття CVD формується під час хімічних реакцій при температурі 700–1050°C.

Покриття CVD відрізняються високою зносостійкістю та чудовою адгезією з твердими сплавами.

Першим твердим сплавом із покриттям CVD став сплав із одношаровим покриттям з карбіду титану (TiC). Пізніше з'явилися покриття з оксиду алюмінію (Al_2O_3) та нітриду титану (TiN). Зовсім недавно були розроблені сучасні покриття на основі карбонітриду титану MT-Ti(C,N) або MT-TiCN, що також позначаються як MT-CVD, що покращують властивості матеріалу за рахунок своєї здатності зберігати цілісність поверхні розділу з твердим сплавом.

У сучасних покриттях CVD комбінуються шари MT-Ti(C,N), Al_2O_3 та TiN. Властивості покриттів безперервно оптимізуються за рахунок зміни мікроструктури та додаткової обробки з метою покращення адгезії, міцності та зносостійкості матеріалу.

Нижче представлені деякі покриття, отримані методом CVD та їх властивості:

MT-Ti(C,N) – шар високої твердості, що забезпечує стійкість до абразивного зносу та, як наслідок, зменшення зносу по задній поверхні.

CVD- Al_2O_3 – хімічно інертний шар із низькою теплопровідністю, що забезпечує стійкість до лункоутворення. Він також виконує функцію термічного бар'єру, що сприяє покращенню стійкості до пластичної деформації.

CVD-TiN – сприяє покращенню зносостійкості та використовується для виявлення зносу.

Додаткова обробка – покращує міцність ріжучих кромek при уривчастому різанні та знижує схильність до налипання.

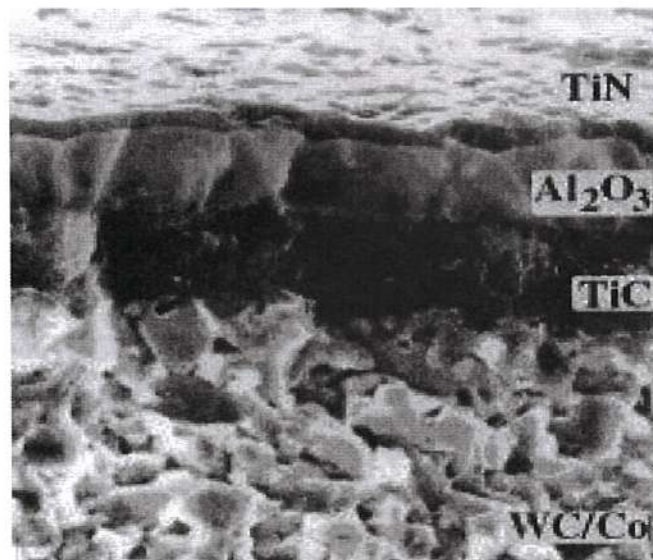


Рисунок 4.1 - Багатошарове покриття CVD

Сплави з покриттям CVD – вибір для широкого діапазону операцій, у яких важливе значення має зносостійкість. Такі операції виконуються в рамках загального точіння та розточування сталі, при якому стійкість до лункоутворення забезпечується за рахунок товстого покриття CVD, а також загального точіння нержавіючої сталі та фрезерування матеріалів груп ISO P, ISO M, ISO K. Що стосується свердління, то сплави з покриттям CVD використовуються, як правило, у периферійних пластинах.

4.1.2 Метод PVD

Покриття PVD (фізичне осадження з парової фази) формуються за відносно низьких температур (400-600°C). Цей процес включає випаровування металу, що вступає в реакцію, наприклад, з азотом, в результаті чого на поверхні ріжучого інструменту утворюється тверде нітридне покриття.

Покриття PVD збільшують зносостійкість металу за рахунок своєї твердості. Їх компресійний вплив також посилює міцність кромки та стійкість до утворення тріщин.

Сучасні покриття являють собою комбінації цих компонентів у послідовних шарах та/або багат шарових покриттях. Багат шарові покриття складаються з безлічі тонких шарів з товщиною в нанометричному діапазоні, які роблять покриття ще твердішим і міцнішим.

Нижче представлені деякі покриття, отримані методом PVD та їх властивості:

PVD-TiN - Нітрид титану був першим покриттям PVD. Він має універсальні властивості та золотистий колір.

PVD-Ti(C,N) – Карбонітрид титану має більшу твердість, ніж TiN, та сприяє покращенню стійкості до зносу по задній поверхні.

PVD-(Ti,Al)N – Титано-алюмінієвий нітрид має високу твердість у поєднанні зі стійкістю до окислення, що сприяє покращенню загальної зносостійкості.

Оксидне покриття PVD – Використовується завдяки своїй хімічній стійкості та високій стійкості до лункоутворення.

Сплави з покриттям PVD рекомендуються для отримання міцних, але гострих ріжучих кромки, а також інструментів для обробки матеріалів, схильних до налипання. Такі інструменти широко поширені і включають всі цільні торцеві фрези та свердла, а також безліч інструментів для фрезерування, нарізування різьби та обробки канавок. Сплави з покриттям PVD також активно використовуються при чистовій обробці, а також як сплав центральної пластини при свердлінні.

Порівняння параметрів технології нанесення покриттів CVD та PVD представлені у табл. 4.1. Це порівняння може допомогти при виборі оптимальної технології нанесення покриття для різних типів виробництва і необхідної якості покриття.

Таблиця 4.1 – Порівняння параметрів методів нанесення покриттів CVD та PVD

	PVD	CVD
Параметри технології		
Тиск, Па	< 102	>102
Температура основи, °C	< 500	>500
Швидкість осадження	висока	низька
Структура	Аморфно-тонкокристалічна	Кристалічна з гранями
Зчеплюваність	Важче	Легше
Пори/Тріщини	Рідко	Можливі
Параметри виробництва		
Розмір партії	Маленький	Великий
Вимога до обладнання	Високі	Низькі
Вартість	Висока	Низька

З аналізу вище викладеної інформації можна побачити, що в даний час проводиться велика кількість досліджень щодо застосування багатофункціональних покриттів, які різняться за складом, структурою покриття і навіть структурою окремих шарів. Варіювання параметрами шару і субшарів призводить до різних властивостей покриття, що дає можливість ширшого дослідження різних комбінацій цих параметрів. На сьогоднішній день немає чітко сформульованої методології формування багатофункціональних покриттів. Ось лише невелика частина робіт з вивчення покриттів, проведених за останні 15 років: у роботі [40] представлені результати досліджень властивостей двошарових покриттів TiN-TiAlN . У роботах [2] і [41] вивчаються властивості складнокомпозиційних багатошарових покриттів на основі систем $\text{Cr-(Al,Cr)N-(Al,Cr,Si)N}$ та $(\text{Al,Cr,Ti,Si)N}$. У роботі [42] розглядали властивості покриттів TiTiN-(Ti,Cr,Al)N та $\text{Zr-ZrN-(Zr,Nb,Cr,Al)N}$; у роботі [43] – властивості систем на основі $\text{Ti-TiN-(Ti,Al,Cr)N}$ та $\text{Ti-TiN-(Ti,Zr,Cr)N}$; у роботі [44] – властивості покриттів на основі систем $(\text{TiAl)N-(Ti,Cr,Al,Si)N}$, $\text{Ti-(TiAl)N-(Ti,Zr,Al,Si)N}$ та $\text{Ti-(TiAl)N-(Ti,Al,Zr,Nb,Cr)N}$; у роботах [46], [45] розглянуто властивості покриттів на основі $(\text{Ti,Al)N-(Zr,Nb)N-CrN}$, а також Ti-TiN-(Ti,Cr,Al) .

Однак у цих роботах є загальний недолік, всі експерименти проводилися з урахуванням зміни лише одного контрольованого параметра: товщина шару або субшару, кількість субшарів, склад шару, тобто були проведені однофакторні експерименти. Такий спосіб проведення експериментів не дає повної картини залежності властивостей покриття від різних комбінацій досліджуваних параметрів. У нашій роботі ми плануємо провести багатофакторний експеримент. Методику планування експерименту розглянемо нижче.

5 МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ, ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ З ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОВЩИНИ ТА КІЛЬКОСТІ ШАРІВ

5.1 Планування експерименту

Дослідження впливу товщини одного шару зносостійкого наноструктурного покриття та кількості таких шарів на стійкість металорізального інструменту було вирішено провести шляхом постановки багатофакторного експерименту у вигляді повного факторного експерименту (ПФЕ) – $N = 2^2 = 4$. Це дозволить на першому етапі виявити напрямок до оптимального рішення – співвідношення товщини та кількості покриттів, а також виявити та оцінити взаємодію факторів при її наявності. Таким чином у якості факторів прийнято: товщина одного шару наноструктурного покриття - δ , кількість шарів – k . Зносостійке покриття наноситься на адгезійний та перехідний шари товщиною до 1,6 мкм.

Значення основного (нульового) рівня, інтервали варіювання були прийняті з попереднього аналізу апріорних даних [34-38]. Ці значення, а також кодовані та натуральні значення рівнів факторів наведені в табл. 5.1. Умови проведення досліджень, що плануються наведені в табл. 5.2

Таблиця 5.1 Значення рівнів та інтервалів варіювання

Чинник		δ , мкм	k , шт
Кодоване позначення фактору		X1	X2
Інтервал варіювання		0,036	40
Основний рівень	0	0,044	60
Нижній рівень	-	0,008	20
Верхній рівень	+	0,080	100

Таблиця 5.2. Умови проведення експерименту

Найменування		Характеристика
Матеріал зразка		09Г2С
Діаметр зразка, мм		250
Довжина зразка, мм		1000
Різець, виробник		ISKAR, MWLNL2020K-06W, 20x20x125
Тип ріжучої пластини		SECO DURATOMIC, WNMG080408-MF4
Матеріал ріжучої пластини		Твердий сплав, TM2000
Геометричні параметри	γ	14
	α	6
	φ	95
	φ'	5
	г, мм	0,8
Верстат		163
Режимі різання	Глибина – t, мм	0,5
	Подача – S, мм/об	0,25
	Швидкість різання – V, м/хв	400
Час на обробку одного зразка, хв		8
Покриття	Хім. склад	Ti-TiN-(Ti,Al)N
	Порядок нанесення	По черзі
	Метод нанесення	PVD
Відгук: Стойкість інструменту – T, хв	Критерій стійкості - знос по задній поверхні інструменту з шириною площадки зносу – h, мм	0,5

У якості відгуку Y прийнято стійкість інструменту T , в хв., критерієм якої є знос по задній поверхні, що вимірюється по досягненні максимальної

ширини площадки зносу h (Див. рис. 5.1). Ширина площадки зносу вимірюється після обробки кожного зразка.

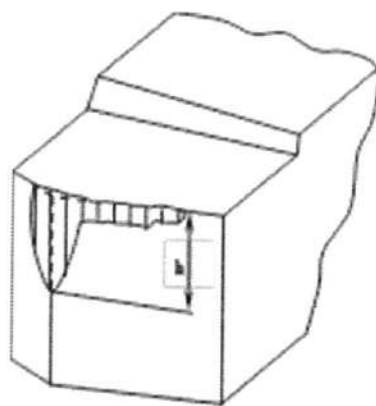


Рисунок 5.1 Вимірювання максимальної ширини площадки зносу по задній поверхні

Відгук Y отримуємо як середній результат по не менш ніж 3 паралельних дослідів ($n = 3 \dots 6$) - див. табл. 5.3. Загальна кількість дослідів при $n=3$ - відповідно 12. Остаточне рішення про кількість паралельних дослідів приймається в залежності від отриманого розсіювання результатів.

За результатами досліджень вихідною моделлю обрано поліном першого ступеню розширений ефектом взаємодії:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 \quad (5.1)$$

Виходячи з зазначеного, план експерименту та його результати будуть виглядати як показано в табл. 5.3.

Загальна товщина зносостійкого покриття H буде визначатися наступним чином:

$$H = \delta \cdot k \quad (5.2)$$

Таблиця 5.3 - План експерименту та результати

N, та паралельні дослідів			X_0	X_1	X_2	X_1X_2	Товщина покриття, мкм	\bar{Y}_i
1	5	9	+	+	+	+	8	
2	6	10	+	-	+	-	0,8	
3	7	11	+	+	-	-	1,6	
4	8	12	+	-	-	+	0,16	

Для виключення системної помилки з результатів експерименту, зазначені в табл. 5.3 дослідів проводимо виходячи с принципу рандомізації, визначаючи їх порядок за таблицею випадкових чисел (див. табл. 5.4)

Табл. 5.4 - Рандомізований порядок проведення дослідів

3	7	11	9	6	8
12	2	5	10	1	4

5.2 Обробка результатів експерименту

Обробка та аналіз результатів експерименту виконується в наступній послідовності.

Для кожного дослідів i за результатами паралельних дослідів j визначається:

Середнє значення стійкості:

$$\bar{Y}_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \quad (5.3)$$

Дисперсія та стандартне відхилення для оцінки розсіювання між паралельними дослідями:

$$S_i^2 = \frac{1}{f} \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (5.4)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{1}{f} \sum_{i=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2} \quad (5.5)$$

Де f – кількість ступенів свободи, що визначається як $f=n-1$;

Коефіцієнт варіації для аналізу стабільності та ступіню змінності отриманих результатів

$$V_i = \frac{S_i}{\bar{Y}_i} \quad (5.6)$$

Для того, щоб визначити чи в однакових умовах проводяться експерименти, за критерієм Кокрена оцінюється однорідність дисперсій, визначених за рівнянням 5.4.

$$G = \frac{\max\{S_i^2\}}{\sum_{i=1}^N (S_i^2)} \leq G_{q,N,f} \quad (5.7)$$

Деякі критичні значення критерію Кокрену для рівня значущості $q=0.05$ та $N=4$ наведені у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 - Критичні значення критерію Кокрену для $N=4$, $q=0.05$ та різних ступенях свободи f

f	2	3	4	5
$G_{0.05,4,f}$	0,768	0,684	0,629	0,590

Якщо дисперсії виявлятимуться однорідними, визначається загальна дисперсія, а якщо ні – потрібен ретельний аналіз умов проведення експериментів. Загальна дисперсія:

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (5.8)$$

Значення коефіцієнтів рівняння регресії:

$$b_r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{ri} Y_i \quad (5.9)$$

Тут r – індекс коефіцієнта рівняння регресії.

Визначимо статистичну значущість факторів, що оцінюється через статистичну значущість відповідних коефіцієнтів регресії. Для цього розрахуємо дисперсію та довірчий інтервал коефіцієнтів рівняння регресії. Дисперсія коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_j\} = S_e^2 \cdot \frac{1}{m} \quad (5.10)$$

Де m – кількість коефіцієнтів рівняння регресії. У нашому випадку – $m=4$

Довірчий інтервал коефіцієнта:

$$\Delta b_l = \pm t_{0,95} \cdot S\{b_j\} \quad (5.11)$$

Де $t_{0,95}$ – критерій Стюдента для довірчої імовірності 0,95.

Виходячи з визначеного за рівнянням (5.11) довірчого інтервалу, статистично незначними є ті фактори для яких:

$$b_r \leq \Delta b_r \quad (5.12)$$

Для отриманого рівняння регресії визначається його адекватність за критерієм Фішера. Залишкова кількість значущих коефіцієнтів регресії: Дисперсія адекватності з кількістю ступенів свободи: l .

$$f_a = N - l \quad (5.13)$$

визначається за рівняннями

$$S_a^2 = \frac{RSS_a}{f_a} \quad (5.14)$$

$$RSS_a = \sum_{i=1}^N n \cdot (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2 \quad (5.15)$$

Тут \hat{Y}_i – значення стійкості, розраховане за рівнянням регресії \hat{Y}_i

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F = \frac{S_a^2}{S_e^2} \leq F_{q, f_a, f_e} \quad (5.16)$$

У рівнянні (5.16) F_{q, f_e} – критичне значення критерію Фішера для довірчої імовірності $\alpha=0,95$, ступенів свободи чисельника $(S_a^2) - f_a$ та знаменника $(S_e^2) - f_e$.

$$f_e = N(n - 1) \quad (5.17)$$

5.3. Методика вимірювання площини зносу по задній поверхні інструменту

Перед початком випробувань подача контролюється в такий спосіб. Індикатор годинного типу встановлюється на станині верстата, щоб він упирився в його каретку, потім верстат вмикається на невеликих частотах обертання, вмикається подача, після вибору зазору ходового гвинта відраховується десять обертів шпинделя (рис. 5.2). Крім того, на початку

кожного проходу швидкість обертання заготовки (швидкість різання) контролюється приладом Testo470 (рис. 5.3).

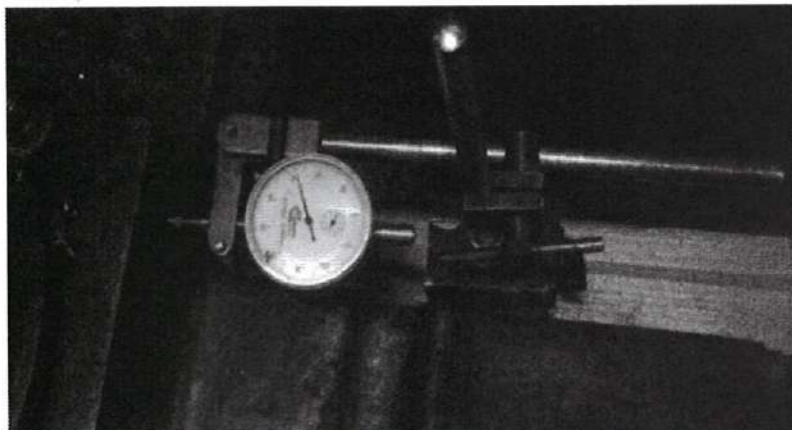


Рисунок 5.2 – Контроль подачі під час проведення стійких випробувань

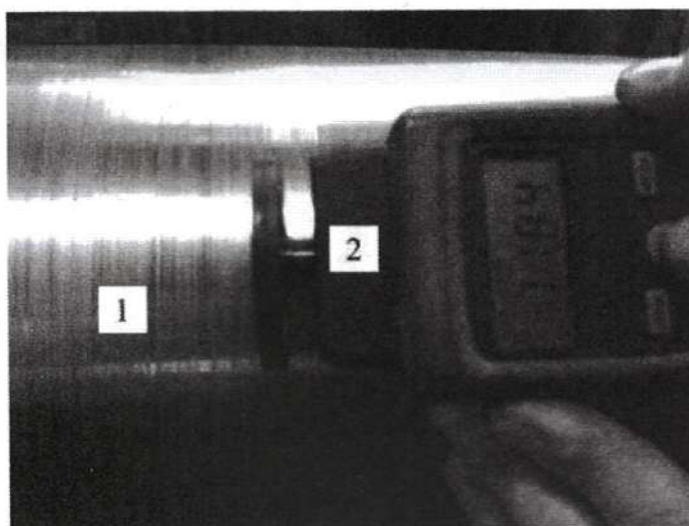


Рисунок 5.3 – Контроль швидкості різання під час проведення стійких випробувань: 1 – заготівля, 2 – прилад Testo 470

Після забезпечення необхідної швидкості різець підводиться до заготовки до торкання, після чого відводиться в протилежну сторону подачі до виходу з контакту. Після виходу з контакту із заготовкою різець подається у бік заготовки на підставі даних індикатора годинного типу на величину глибини різання (рис. 5.4), потім включається подача. Відлік часу різання починається в момент початку стружкоутворення. Час проходу вибирається в

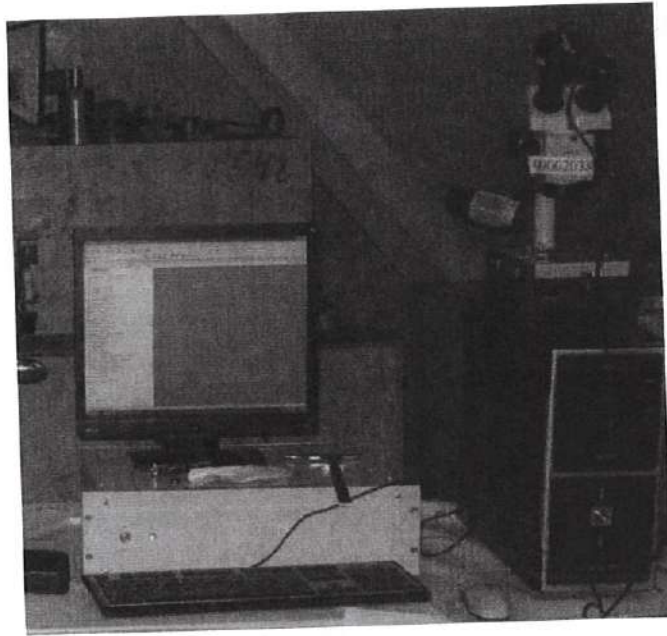


Рисунок 5.5 – Цифрова камера, підключена до комп'ютера для оцінки зношування інструменту

5.4. Методика нанесення багатошарових покриттів та регулювання їх товщин.

Нанесення покриття здійснюватиметься методом PVD за допомогою машини DREVA 600.

DREVA 600 - це дводверна машина для нанесення покриттів на робочі поверхні твердих матеріалів при різанні, а також на формувальних інструментах та компонентах механічної обробки. Велика ємність покриття та дуже короткий час обробки (120...180 хв.) забезпечують максимальну ефективність за низьких експлуатаційних витрат.

Передня та задня стінки машини, оснащені двома прямокутними перехідними пластинами які є технологічними модулями. У стандартній версії установки чотири технологічні модулі укомплектовані трьома магнітокерованими круглими ARC-джерелами, всього машина оснащена дванадцятьма джерелами.



DREVA 600 може бути додатково оснащена прямокутними джерелами ARC або навіть джерелами розпилення та, таким чином, може бути адаптована для різних видів покриття. У стандартному виконанні установка також має два додаткові нагрівачі.

Установка обладнана двома порожнистими катодами які є двома додатковими джерелами плазми. Джерела плазми з порожнистим катодом, що інтегруються в повний процес, суттєво скорочують час обробки та, таким чином, забезпечують високу продуктивність системи. За допомогою нагрівання електронним ударом два порожнисті катода нагрівають інструменти до досягнення оптимальної температури процесу. Потім температура стабілізуватиметься двома нагрівачами. Крім того, порожнисті катода використовуються для остаточного очищення та активації поверхонь пластин за допомогою так званого плазмового травлення.

Залежно від геометрії деталей або необхідного завдання змінний поворотний стіл може бути оснащений максимум вісьма планетарними стрижнями. Ці сателіти підготовлені для розміщення касет із носіями, які завантажені окремими частинами, на кількох рівнях до необхідної висоти приблизно 24 дюйми. Обертання пластин за трьома координатами забезпечує правильний напрямок розміщення їх поверхонь вздовж нагрівачів, технологічного обладнання, джерел плазми з порожнистим катодом та джерел випаровування.

Додаткові модулі та їх технологічні можливості наведені в табл. 5.6. Технічні параметри машини DREVA 600 представлені у табл. 5.7.

Таблиця 5.6 - Додаткові модулі та їх технологічні можливості.

	Технологія покриття	ARC-технологія з круглими джерелами
	Конфігурації	4 ARC-модулі (2 на передніх і 2 на задніх дверях) з 3 круглими джерелами на модуль
	Матеріали покриття	TiN, TiCN, TiAlN, CrN, AlCrN, AlTiCrN, ZnN та інші
	Технологія покриття	ARC-технологія з круглими та прямокутними джерелами
	Конфігурації	- 2 модулі з 3 круглими джерелами - 2 модулі з 1 прямокутним джерелом.
	Матеріали покриття	TiN, TiCN, TiAlN, CrN, AlCrN, AlTiCrN, ZnN та інші

Таблиця 5.7 – Технічні параметри машини DREVA 600

Діаметр вакуумної камери	700мм
Висота вакуумної камери	875мм
Робочий об'єм камери	460л
Діаметр поворотного столу	500мм
Кількість планетарних шпинделів	8
Завантаження	1024 інструменти – \varnothing 6мм 830 інструментів – \varnothing 8 мм 770 інструментів – \varnothing 10 мм 380 інструментів – \varnothing 20 мм
Швидкість обертання столу	1...6 хв ⁻¹
Кількість порожнистих катодів – плазмових джерел	2
Кількість нагрівачів	2
Кількість ARC-прямокутних джерел	опція
Кількість розпилювачів	опція
Загальний час роботи	120-180хв

Процес нанесення покриття при використанні PVD методу протікає у середовищі інертного газу у присутності реакційного газу (наприклад, азоту або ацетилену). Для покращення перенесення частинок у камері підтримується знижений тиск (близько 1Па) або високий вакуум (10-3Па). Оскільки покриття наноситься тільки на поверхні, звернені у бік джерела частинок, матеріал, що покривається, повинен здійснювати складний планетарний рух.

В установках, що використовують випаровування електронним пучком, до катода з тліючою дугою підводиться висока напруга від 1кВ до 10кВ. В

результаті створюється сфокусований та прискорений пучок електронів близько 200 А.

Найважливішим керуючим параметром системи при осадженні покриттів із газової фази є тиск компонентів.

Точність контролю тиску і мінімальний залишковий тиск сторонніх газів визначають розподіл частинок, що осаджуються, по енергіях отже і однорідність формування покриття.

Негативно позначається на гомогенності покриття значний залишковий тиск. Сторонні атоми можуть взаємодіяти з поверхнею підкладки або покриття та вбудовуватись у їх структури.

Фазові співвідношення у системі визначають можливість формування покриттів заданого складу.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

- Шум спричиняє шкідливу дію не тільки на орган слуху, але й на весь організм. При тривалому впливі шуму знижується гострота слуху (розвиток глуховатості і глухоти), погіршується стан нервової системи (неврози), серцево-судинної (гіпертонічна хвороба) і травної (гастрити, виразкова хвороба) систем;

- ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), режиму опромінення, розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму;

- функціональні ефекти виявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової (ЦНС) та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні ЕМП спостерігаються зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі трофічні явища (випадання волосся, ламкість нігтів та ін.);

- погане освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При недостатньому освітленні очі працюючого напружені, при цьому складно відрізнити оброблювані предмети, знижується темп роботи, погіршується загальний стан організму людини;

- основними причинами недостатньої або нераціональної освітленості робочих місць є несправність або нераціональний вибір освітлювальних приладів;

- знижена контрастність із-за неправильного регулювання екрану призводить до зниження працездатності та швидкого стомлювання організму;

- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нерационального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;

- параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність.

- наявні в приміщенні матеріали, що можуть виділяти шкідливі хімічні речовини можуть підвищити ГДК цих речовин в повітрі, що приводить до можливих уражень нервової системи людини;

- небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі;

- несвоєчасне проведення інструктажу з правил пожежної безпеки, відсутність ефективного управління персоналом під час надзвичайних ситуації може привести до небезпеки травмування.

6.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

З метою зменшення негативного впливу ПК на організм людини враховані вимоги при організації роботи за ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [47].

Приміщення з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) оснащено аптечкою першої медичної допомоги.

Згідно ПУЕ (Правила улаштування електроустановок), щодо безпеки ураження людей електричним струмом, наше приміщення є: приміщенням без підвищеної небезпеки (сухе, добре опалювальне, з струмонепровідною підлогою, з температурою всередині приміщення 18-30°C, з вологістю 40-50%).

Щоб уникнути ураження електричним струмом все електрообладнання на робочому місці заземлюється за ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Захисне заземлення, занулення» [48].

Захисне заземлення, опір якого складає 4 Ом, забезпечує захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Захисне заземлення виконано навмисним електричним з'єднанням металевих частин електроустановок з «землею» або її еквівалентом.

Захисному заземленню підлягають металеві частини електрообладнання, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку [48].

Захисне заземлення електроустановок слід виконувати при:

- при номінальній напрузі 380В і вище змінного струму та номінальній напрузі 440В і вище постійного струму - у всіх випадках;
- при номінальній напрузі від 42В до 380В змінного струму та від 110В до 440В постійного струму при роботах в умовах з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних.

Заземлюючі пристрої, що використовуються для заземлення електроустановок відповідають всім вимогам, що пред'являються до заземлення цих електроустановок.

Матеріал, конструкція і розміри заземлювачів забезпечують стійкість до механічних, хімічних і термічних дій на весь період експлуатації.

Для вирівнювання потенціалів металеві будівельні та виробничі конструкції приєднані до мережі заземлення.

Згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» площа на одне робоче місце має бути не менше ніж $6,0\text{м}^2$, а обсяг - ніж $20,0\text{м}^3$, відповідно на три місця - не менше ніж $18,0\text{м}^2$, а обсяг - ніж $60,0\text{м}^3$. Неприпустимо розташування приміщень, призначених для

роботи з ВДГ в підвалах і цокольних поверхах [47]. Також забороняється розміщення, згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок по вибухопожежної та пожежної безпеки» [52], вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ, а також над такими приміщеннями, або під ними. Крім того, приміщення для роботи з ВДГ не повинні межувати з приміщеннями, в яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення, відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [56].

Робоча поверхня встановлена з урахуванням характеру виконуваної роботи і має прямокутну форму. Висота сидіння і підставки для ніг (при нерегульованій висоті робочої поверхні). В цьому випадку висоту робочої поверхні встановлюють по номограмі залежності висоти робочої поверхні для різних видів робіт, простору для ніг і висоти робочого сидіння від росту людини рис. 6.1 для робочого зі зростом 1800мм.

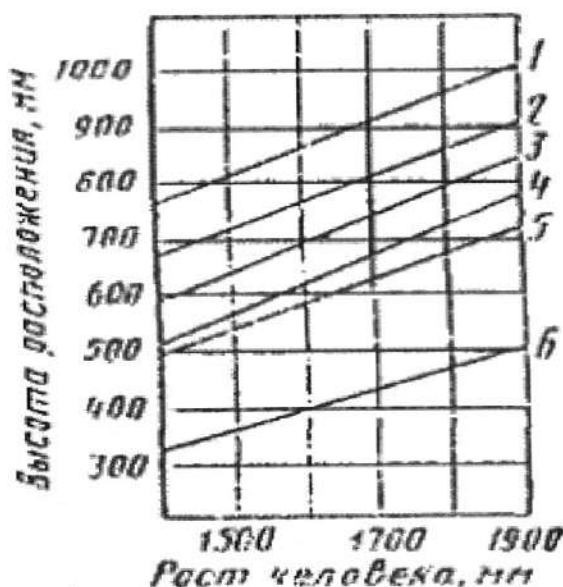


Рисунок 6.1 - Номограма

Таблиця 6.1 - Висота робочої поверхні, мм, при організації робочого місця

Назва роботи	Висота робочої поверхні, мм,		
	жінок	чоловіків	жінок і чоловіків
Організація роботи системи прийняття рішень при виникненні пожежної небезпеки	630	680	655

Оптимальна робоча поза для робітників більш низького зросту досягається за рахунок збільшення висоти робочого сидіння і підставки для ніг на величину, рівну різниці між висотою робочої поверхні для робітника зі зростом 1800 мм і висотою робочої поверхні, оптимальної для зросту даного робітника.

6.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Випромінювання електромагнітного поля (ЕМП) може негативно вплинути на організм людини, таке як: втома, нудота, головний біль, дратівливість. Джерелами є мобільні телефони, ЕОМ з ВТД, радіоприлади. Час перебування людини в магнітному полі і напруженість більше 1,4 кА/м регламентується відповідно до ДСанПіН 3.3.6-096-2002 «Державні санітарні норми і правила [54]. Санітарні норми виробничого полів» показаний у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Час перебування людини в магнітному полі і напруженість

Час перебування персоналу, годин	1	2	3	4	5	6	7	8
Напруженість магнітного поля, кА / м	6,0	4,9	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,4
Магнітна індукція, мТл	7,5	6,13	5,0	4,0	3,13	2,5	2,0	1,75

Для вимірювань в діапазоні частот 300МГц – 300ГГц використовуються прилади, призначені для визначення середніх значень щільності потоку енергії, з похибкою 40% в діапазоні частот 300 МГц - 2 ГГц і 30% в діапазоні частот понад 2 ГГц.

Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот» [55], допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю» вимірювання напруженості та щільності потоку енергії ЕМП проводяться не рідше одного разу на рік, а також в наступних випадках:

- при введенні в дію нових установок;
- при внесенні змін у конструкцію, розміщення і режим роботи діючих установок;
- під час і після проведення ремонтних робіт, які супроводжуються зміною випромінюваної потужності;
- при внесенні змін до засобу захисту від ЕМП;
- при організації нових робочих місць.

Вимірювання напруженості або щільності потоку енергії ЕМП допускається не проводити у випадках, якщо: установка не працює в режимі випромінювання на відкритий хвилевід, антену або інший елемент, призначений для випромінювання ЕМП в навколишнє середовище, і її номінальна потужність згідно з паспортними даними не перевищує:

- 2,5Вт - в діапазоні частот від 60кГц до 3МГц;
- 400мВт - в діапазоні частот понад 3МГц до 30МГц;
- 100мВт - в діапазоні частот понад 30МГц до 300ГГц.

Приміщення для роботи з ВДТ мають природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» [61].

Природне освітлення здійснюється через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ / північний схід і забезпечують коефіцієнт природного освітлення (КПО) вище 1,5%.

Штучне освітлення здійснюється системою загального рівномірного освітлення з додатковим використанням світильників місцевого освітлення.

Як джерела світла для штучного освітлення використовуються переважно люмінесцентні лампи типу ЛБ і світильники типу ЛПО. У світильниках місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання.

Віконні прольоти приміщень для роботи з ВДТ обладнані регульованими жалюзі і фіранками [61].

В таблиці 6.3 приведені норми освітленості робочих місць.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [46] рівень звуку на робочих місцях перевищує 80 дБА.

Приміщення обладнане системою опалення та кондиціонування повітря відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [63].

Підлогове покриття матове з коефіцієнтом відображення 0,3-0,5. Поверхня підлоги рівна, не слизька, з антистатичними властивостями.

У приміщеннях з ВДТ потрібно щодня проводити вологе прибирання.

Режим праці і відпочинку при роботі на ЕОМ з ВТД відповідає ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [53], для операторів ЕОМ за характером роботи, становить при 8 годинній робочій зміні – 15 хвилинні перерви для відпочинку кожні 2 години, при 12 годинній робочій зміні – протягом останніх 4 годин, кожену годину перерви протягом 15 хвилин. Задля уникнення надмірної втоми виконується активний відпочинок – виконання гімнастичних вправ, що сприяють м'язовому розслабленого і зняття нервової напруги.

Таблиця 6.3 – Норми освітленості робочих місць відповідають вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення»

Характеристика зорових робіт	Найменші розміри об'єкта відмінностей	Розряд зорових робіт	Підрозряд зорової роботи	Освітленість, ЛК		
				комбіноване		Загальна
				всього	В т.ч. загального	
Малої точності	Більше 1,0 до 5	V	а	400	200	300
			б	-	-	200
			в	-	-	200

6.4 Заходи пожежної безпеки

Згідно НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» [43] та ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [64] клас приміщення, в якому розташовані ВДТ, «А», а клас можливої пожежі в даному приміщенні - «Д».

Заходи з пожежної безпеки виконані відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 - «Правила пожежної безпеки України». ГОСТ 12.2.037-78 (2001) ССБТ «Техніка пожежна. Вимоги безпеки».

Пожежна техніка повинна відповідати вимогам ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» [63], ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги», ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги».

Згідно «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників» [558] приміщення оснащено вуглекислотним вогнегасником, ємністю 25 літрів.

Оператор ЕОМ проінструктований щодо використання вогнегасників відповідно до НАПБ Б.01.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників».

Проектування, виготовлення, монтаж, наладку і експлуатацію АУП слід проводити відповідно до вимог даного стандарту, нормативно-технічної документації та технічних умов на АУП конкретного типу.

Проходи і евакуаційні виходи передбачені відповідно до вимог ДБН В.1.1.7-2002 - «Пожежна безпека об'єктів будівництва» [54].

Системи оповіщення повинні бути розташовані відповідно до НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» [59] та персонал повинен бути проінструктований відповідно до цього положення.

План евакуації з приміщення кафедри металорізальних верстатів на інструментів та лабораторії верстатів та інструментів, які розміщені в аудиторії 151, представлено на рис. 6.2.

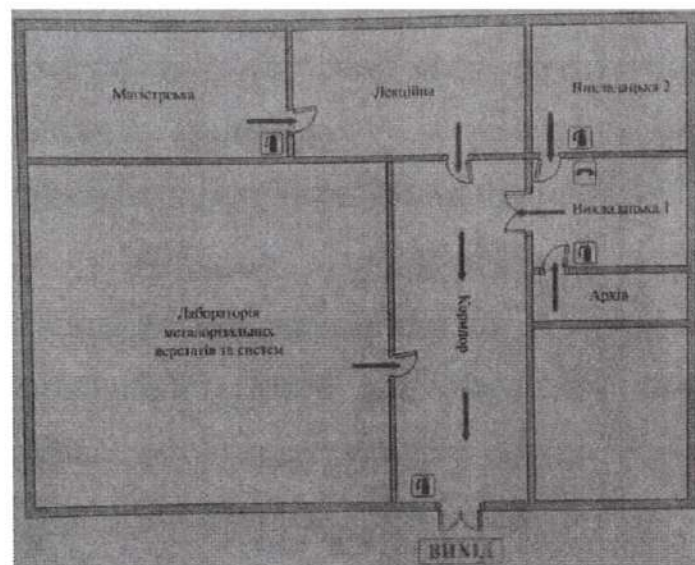


Рисунок 6.2 – План евакуації з приміщення аудиторії 151.

Інструкції при виникненні пожежі приведені у табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Інструкції у разі виникнення пожежі

1. Повідомити по телефону	<ul style="list-style-type: none"> - Адрес об'єкту - Місце виникнення пожежі - Своє прізвище
2. Евакуювати людей	<ul style="list-style-type: none"> - Орієнтуватися по знакам напрямку руху - Вивести з собою постраждалих
3. За можливості вжити заходів щодо гасіння пожежі	<ul style="list-style-type: none"> - Використати засоби протипожежного захисту - Використати за необхідності інструменти приміщення

6.5 Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва

Залежно від характеру впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) можуть бути рекомендовані наступні напрямки захисту:

- застосування двопровідних симетричних ліній, добре ізольованих одна від одної і від землі;
- екранування підземних кабелів мідної, алюмінієвої, свинцевою оболонкою;
- електромагнітне екранування блоків і вузлів апаратури;
- використання різного роду захисних входних пристроїв і грозозахисних засобів.

Найефективнішим захистом від впливу ЕМІ є повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном.

Практично забезпечити такий захист у ряді випадків неможливо бо для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричний зв'язок із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, що розміщуються по периметру дверей та люків.

Більш складною технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Ефективним вирішенням цієї проблеми є перехід від електричних мереж зв'язку до волоконно-оптичних, що практично не схильні до дії ЕМІ.

На сьогоднішній день в якості засобів захисту кабельних входів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а також іскрові розрядники, металооксидні варистори і високошвидкісні зенерівські діоди.

Всі ці засоби мають як переваги, так і недоліки. Так, ємнісно-індуктивні фільтри достатньо ефективні для захисту від ЕМІ малої інтенсивності, а волоконні фільтри захищають у відносно вузькому діапазоні надвисоких частот. Іскрові розрядники мають значну інерційність і в основному використовуються для захисту від перевантажень

Металооксидні варистори, представляють собою напівпровідникові прилади, що різко підвищують свою провідність при високій напрузі.

Однак, при застосуванні цих приладів в якості засобів захисту від ЕМІ слід враховувати їх недостатньо високу швидкодію і погіршення характеристик при неодноразовому дії навантажень. Ці недоліки відсутні в високошвидкісних зенерівських діодах, дія яких заснована на різкій зміні опору від відносно високого значення практично до нуля, при перевищенні певної порогової величини прикладеної до них напруги. Крім того, на відміну від варисторів характеристики зенерівських діодів після

багаторазових впливів високих напруг і перемикань режимів не погіршуються.

Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту кабельних вводів від ЕМІ є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вбудованих зенерівських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності й індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 12th international scientific conference. achievements in mechanical and materials engineering. Advanced tool materials for high-speed machining J. Korac Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, Slovenia (1119-1128)
2. А.А. Верещака, А.С. Верещака Некоторые тенденции совершенствования функциональных покрытий для режущих инструментов. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві, 2014, вип. 2(7).
3. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями - М.: Машиностроение , 1993. 336 с.
4. Vetter J., Burgmer W., Dederichs H., Perry A. The architecture and performance of compositionally gradient and multi-layer PVD coating. Material Sci-ence Forum Vols. 163 - 165 (1994) pp. 527 - 532.
5. Moll E., Bergmann E. Hard coatings by plasma-assisted PVD technologies: industrial practice. Surface and Coating Technology , 37 (1989) 483-509.
6. Holleck H. 1990. Basic principles of specific application of ceramic materials as protective layers. Surface and coatings Tecnnology, 43/44 245 - 258.
7. Верещака, А.С. Повышение эффективности инструмента путем управления составом, структурой и свойствами покрытий./А.С. Верещака, А.А. Верещака // Упрочняющие технологии и покрытия. 2005, № 9. С.9-19
8. Верещака А.С. Некоторые методологические принципы создания функциональных покрытий для режущего инструмента. В кн. Современные технологии в машиностроении. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. С. 210-232.
9. Верещака А.А., Верещака А.С., Лапин В.Ф. Управление структурой и свойствами износостойких покрытий как метод повышения эксплуатационных характеристик режущего инструмента - процессы, оборудование, технология. Сборник научных трудов «Высокие технологии в машиностроении» НТУ «ХПИ».- Харьков, 2001-Вып.1 (4). С.46-50.

10. Верещака А.С. Основные аспекты применения и совершенствования режущих инструментов с износостойкими покрытиями //СТИН.2000.- № 9. С.33-40
11. Верещака А.С. Анализ основных аспектов проблемы совершенствования инструментальных материалов путем модификации их поверхностных свойств. Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: Сб. науч. труд. Института сверхтвердых материалов им. В.Н Бакуля НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки, станки и инструменты. -Киев, 2002. С.301-315.
12. Vereshchaka A., / Lee W.Y. High Precision/High Speed Machining Technologies. Edition of HRDI, S.Korea, Cheonan. 2002. 393 p.
13. Cselle T. Nanostructurierte Schichten in der Werkstoff. Platit AG. Warkzeugtagung 2002.
14. Byrne G., Dornfeld D., Denkena B. Advancing Cutting Technology. CIRP Annals. Vol 52/2/2003.268 (1995) 64-71.
15. Верещака А. С., Обрезков О. И., Дюбнер Л. Г. Разработка и исследование процесса синтеза вакуумно-дуговых покрытий с ассистированием высокоэнергетическими ионами. Материалы XIII международного научно-технического семинара. Харьков-Алушта: НТУ «ХПИ», 2003. С. 28-40.
16. Додонов А.И. Силаев В.А. Эксплуатационные свойства ультрамелкозернистых покрытий. М.: ИТО, № 1, 2000. С. 23-27. 13.
17. Lierat F, Vereschaka A et al. DE Patent N 19733517A1. 04.02.1999.
18. Верещака А.А. и др. Патент РФ № 2198243. Многослойно-композиционное износостойкоепокрытие. 10.02. 2003 с приоритетом от 05.08.1998.
19. Panckow A.N, Steffenhagen J., Wegener D., Dubner L., Lierath F. Application of novel vacuum-arc ion-plating technologies for the design of advanced wear resistant coatings. Surface and Coating Technologies 138 (2001). p. 71-76.

20. Grigoriev S.N., Vereschaka A.A., Vereschaka, A.S., Kutin A.A. Cutting tools made of layered composite ceramics with nano-scale multilayered coatings. *Procedia CIRP* 1 (2012), p.318–323.
21. Konstantinos-Dionysios Bouzakis, Nikolaos Michailidis, Georgios Skordaris and others. Cutting with coated tools: Coating technologies, characterization methods and performance optimization. *CIRP Annals Manufacturing Technology* 61 (2012) p.703–723.
22. Coated Tools for Metal Cutting - Features and Applications F. Klocke, T. Krieg Laboratory for Machine Tools and Production Engineering Dept. of Machining Technology RWTH Aachen, Aachen, Germany.
23. Максимов Ю.В., Бубликов Ю.И., Верещака А.А., Верещака А.С., Хаустова О.Ю., Козлов А.А., Ходжаев О. Нанодисперсные многослойно-композиционные покрытия для режущих инструментов: Известия МГТУ «МАМИ», №2(14), 2012, т.2.
24. Cutting forces and wear in dry machining of Inconel 718 with coated carbide tools A. Devillez, F. Schneider, S. Dominiak, D. Dudzinski, D. Larrouquere. *Wear* 262 (2007) p.931–942.
25. Rauscheudach B., Sienz S, Six S., Gerlach J. Synthesis of metal nitrides by low-energy ion assisted film growth. *Surface and Coating Technology*.142-144, 2001. P. 371-375.
26. Табаков, В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. –311 с.
27. Dias A G, Van Breda J H, Moretto P, Ordelman J. Development of TiN-Si 3N4 nano composite coatings for wear resistance applications. *J. de Physique IV*, 1995, 5: C5.831- C5.840.
28. Mitterer C, Losbichler P, Hofer F, Beschliesser M, Warbichler P, Gibson P N, Gissler W. Nanocrystalline hard coatings within the quasi-binary system TiN-TiB₂. *Vacuum*, 1998, 50:313-318.
29. Koehler J.S. Attempt to design a strong solid // *Phys. Rev.* – 1970. – V. B2. – P. 547-551.

38. М.Г. Оганян. Повышение стойкости твердосплавных концевых фрез при обработке деталей из титановых сплавов на основе применения разработанных многокомпонентных композиционных покрытий наноразмерной структуры. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.- Москва.:2020.- 26стр.

39. А.В. Курочкин. Оптимизация архитектуры многослойных износостойких наноструктурированных покрытий.- Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьёва.- Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 68.

40. Григорьев, С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента. – Москва: Машиностроение, 2009. – 368 с.

41. Vereschaka, A. Development of assisted filtered cathodic vacuum arc deposition of nano-dispersed multi-layered composite coatings on cutting tools / A. Vereschaka // Key Engineering Materials. – 2014. – Т. 581. – С. 62–75.

42. Okumiya, M. Mecfnical properties and tribological behavior of TiN-CrAlN and CrN-CrAlN multilayer coatings / M. Okumiya, M. Gripentrog // Surface and Coating Technologies. – 1999. – 112. – С. 123–128.

43. Верещака, А.С. Тенденции совершенствования и методология создания функциональных покрытий для режущего инструмента / А.С. Верещака, А.А. Верещака // Производство. Технология. Экология : сборник научных трудов : в 3 томах. – Том 3 (часть 2). – № 10. – Москва : Янус-К, 2007. – С. 889–929.

44. Influence of subsurface properties on the adhesion strength of sputtered hard coatings / Н.К. Tonshoff, В. Karpuschewski, А. Mohlfeld, Н. Seegers // Surf. Coat. Technol. – 1999.– 117.– С. 524–529.

45. Верещака, А.А. Повышение режущих свойств твердосплавного инструмента путем рационального выбора состава, структуры и свойств наноразмерных износостойких комплексов: дисс. ... канд. техн. наук. – Москва : ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2010. – 254 с.

46. Knotek O. Multilayer Coatings for Improved Performance / O. Knotek, F. Loffler, G. Kramer // Surface Coating Technology. – 1993. – 59. – С. 14–18.

47. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

48. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ «Захисне заземлення, занулення».

49. Катренко Л. А. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум [Текст] : навчальній посібник / Л. А. Катренко, Ю. В. Кіт, І. П. Піскун – 2-ге вид., стер. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2007.

50. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок»

51. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»

52. НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок по вибухопожежної та пожежної безпеки».

53. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Робоче місце при виконанні робіт сидячи. Загальні ергономічні вимоги».

54. ДСанПіН 3.3.6-096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів

55. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

56. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»

57. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

58. ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».

59. ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги».

60. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожежна безпека. Загальні вимоги».

61. «Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників», затверджені наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстровані в МІОУ 23.02.2018 р. за № 225/31677»

62. НАПБ Б.01.008-2004 «Правила експлуатації вогнегасників».

63. НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах».

64. Шоботов В. М. Цивільна оборона [Текст]: Навчальний посібник / В. М. Шоботов. - Вид. 2-ге, перероб. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.

65. Відповідно до ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот»

66. ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань