

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра (Машинобудування, транспорту і зварювання)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

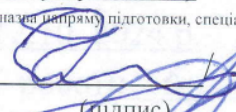
на тему

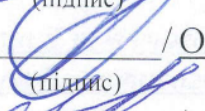
Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з
підвищення стійкості ріжучого інструменту за рахунок застосування нових
методів хіміко – термічної обробки

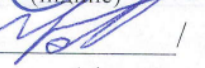
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг
спеціальності: 015.34 Професійна освіта
(Машинобудування)

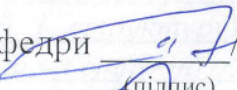
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 / Денис ДІХТЯР
(підпис) (ім'я та прізвище)

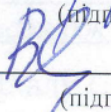
Керівник  / Олег ХОРОШИЛОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Антон СКОРКІН
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

О.Л. Подоляк

“12” жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Денису ДІХТЯРЮ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення стійкості ріжучого інструменту за рахунок застосування нових методів хіміко – термічної обробки

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи “6” грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані з експлуатації ріжучого інструмента у виробничих умовах Corum Group (ОАО «Світло шахтаря»), каталоги інструментів, стандарти та засоби технічного оснащення.

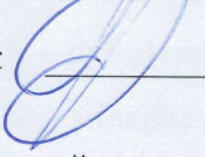
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Аналіз основних причин виходу з ладу різних видів інструмента. Обладнання, матеріали, методика виконання дослідження. Експериментальна частина (Дослідження впливу параметрів ХТО на закономірності формування дифузійних шарів інструментальних сталей і структуру) (Дослідження впливу низькотемпературної хіміко-термічної обробки на структуру й властивості сталей, застосовуваних для виготовлення металорізального інструмента й деформуючого інструментального оснащення), Вплив ХТО на показники стійкості різального інструменту. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

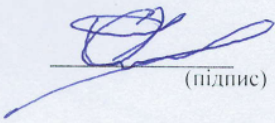
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язковихреслень, плакатів: Аналіз основних причин виходу з ладу різних видів інструмента. Обладнання, матеріали, методика виконання дослідження. Експериментальна частина (Дослідження впливу параметрів ХТО на закономірності формування дифузійних шарів інструментальних сталей і структуру) (Дослідження впливу низькотемпературної хіміко-термічної обробки на структуру й властивості сталей, застосовуваних для виготовлення металорізального інструмента й деформуючого інструментального оснащення), Вплив ХТО на показники стійкості різального інструменту.

5. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Борис ХОМУЛЕНКО			

Дата видачі завдання « 12 » жовтня 2024 р.

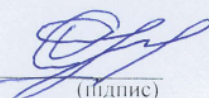
Керівник  Олег ХОРОШИЛОВ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання  Денис ДІХТЯР
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

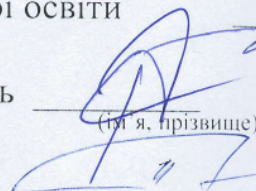
Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.	<u>05.09.24</u>	
Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел	<u>06.09.24</u>	
Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи	<u>10.09.24</u>	
Підготовка аналітичної частини	<u>16.09.24</u>	
Підготовка теоретичної частини	<u>30.09.24</u>	
Розробка дослідницької частини	<u>14.10.24</u>	
Розробка методичного розділу	<u>28.10.24</u>	
Підготовка графічного матеріалу	<u>04.11.24</u>	
Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника	<u>11.11.24</u>	
Доробка проекту по зауваженнях консультантів	<u>18.11.24</u>	
Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.	<u>29.11.24</u>	
Захист кваліфікаційної роботи	<u>10.12.24</u>	

Здобувач вищої освіти


(підпис)

Денис ДІХТЯР
(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль
(підпис)


(ім'я, прізвище)

Антон СКОРПІН

Олег ХОМУЛЕНКО

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Професійна підготовка фахівця підприємств інструментального виробництва з підвищення стійкості ріжучого інструменту за рахунок застосування нових методів хіміко – термічної обробки

студента	(назва роботи) <u>ДІХТЯР Денис Євгенійович</u> (прізвище, ім'я та по батькові)
науковий керівник	<u>Хорошилов Олег Миколайович</u> (прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 4,55,

Коефіцієнт Подібності 2: 2,31 ,

Сигнал „Тривога!”: ☒ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 10 % – оригінальна робота,

від ____% до ____% – задовільно оригінальна робота,

від ____% до ____% – умовно оригінальна робота,

більше ____% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

А
(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

18.11.24

(дата)

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

B_2O_3 – оксид бора;

$BaCl_2$ – хлорид барію;

Fe_2B – борид залеза;

Fe_3C – карбид залеза;

Fe_3N – субмікрород;

Fe_3Si – мінерал силицида залеза;

$FeSi$ – силицид залеза;

$FeSi$ – силицид залеза;

$Na_2B_4O_7$ – тетраборат натрія («бура»);

$NaCl$ – хлорид натрію;

год. – години;

грн. – гривні;

ДОІ - (паста ГОІ) Державний оптичний інститут;

ЗОТС – змащувально-охолоджуюче технологічне середовище;

мм – міліметр;

об – оберти;

од. – одиниці;

п/п – по порядку;

рис. – рисунок;

табл. – таблиця;

ТП – технологічний процес;

хв. – хвилина;

ХТО – хіміко-термічна обробка;

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається із вступу, п'яти розділів, висновку й переліку використаної літератури, містить ____ сторінок машинописного тексту, ____ таблиць, ____ рисунка, додаток.

Метою цієї роботи є дослідження впливу нових методів хіміко-термічної обробки, які суміщаються з загартуванням або відпусткою, без використання спеціального обладнання, на ефективність експлуатації інструменту в виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря»

У даному дипломному проекті розроблено:

1. На підставі аналізу причин виходу з ладу різних видів інструменту визначена номенклатура, яку доцільно піддавати ХТО (хіміко-термічній обробці).

2. Встановлено вплив технологічних параметрів хіміко-термічної обробки стали на мікроструктуру, фазовий склад і властивості поверхневих шарів інструментальної сталі.

3. Досліджено вплив зміцненого поверхневого шару інструменту на збільшення стійкості різних видів інструменту;

4. Доведено економічну ефективність в результаті використання сучасних методів хіміко-термічної обробки стосовно до різних видів інструменту, що має підвищену стійкість після ХТО.

5. В методичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки» з дисципліни: «Теорія різання та інструмент» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

Ключові слова: МЕТАЛОРИЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ПОРОШКОВА СТАЛЬ, ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНІ, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТВЕРДІСТЬ.

ABSTRACT

An explanatory note consists of an introduction, five chapters, a conclusion and a list of used literature, contains ____ pages of typed text, ____ tables, ____ figures.

The purpose of this work is to study the impact of new methods of chemical treatment with a quenching or vacation, without the use of special equipment, on the effectiveness of the tool operation in the production conditions of PJSC "Svit Miner"

This graduation project has developed:

1. Based on the analysis of the reasons for the failure of various types of instrument, a nomenclature that is expediently subjected to the HTS (chemical and thermal treatment) is defined.
2. The influence of technological parameters of chemical-thermal processing of steel on microstructure, phase composition and properties of surface layers of tool steel has been established.
3. The influence of the strengthened surface layer of the tool on increasing the stability of various types of instrument was investigated;
4. Economic efficiency has been proved as a result of the use of modern methods of chemical and thermal treatment in relation to various types of instrument, which has increased stability after CTP.

In the methodological section of the master's qualification work, methodological guidelines were developed for conducting a seminar on the topic "Ways of increasing the stability of the tool due to chemical and thermal treatment" from the discipline: "Theory of cutting and tools" for students of the specialty "Professional education. Mechanical Engineering", the operational goals of the seminar were formulated, the type and form of the seminar was chosen, a list of issues for discussion was determined, the motivation for students' interest in studying the topic was formulated, the basic conditions of learning on the topic were analyzed, sources of information for preparation for the seminar were selected and analyzed, the criteria were described evaluation of students' reports at the seminar and a developed scenario for holding a seminar class on the topic.

Keywords: METALORIZAL TOOL, POWDER STEEL, STRENGTHENING SURFACE, CHEMICAL-THERMAL PROCESSING, BORING, HARDNESS.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА	11
1.1 Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку	11
1.2 Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва	13
1.3 Висновки до розділу 1	16
2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	17
2.1 Аналіз основних причин виходу з ладу різних видів інструмента	17
2.2 Методи й способи хіміко-термічної обробки для підвищення стійкості інструмента	23
2.3 Структура й властивості інструментальних сталей після різних видів хіміко-термічної обробки	29
2.4 Вплив хіміко-термічної обробки на стійкість різних видів інструментального оснащення	34
2.5 Постановка завдання	35
3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	37
3.1 Обґрунтування вибору досліджуваних матеріалів	37
3.2 Використання вискоєфективних сумішей при ХТО інструмента	37
3.3 Методика проведення дослідження структури й властивостей	38
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	42
4.1 Дослідження впливу параметрів ХТО на закономірності формування дифузійних шарів інструментальних сталей і структуру	42
4.2 Дослідження впливу низькотемпературної хіміко-термічної обробки на структуру й властивості сталей, застосовуваних для виготовлення металорізального інструмента й деформуючого	

	інструментального оснащення	47
4.3	Вплив ХТО на показники стійкості різального інструменту	52
5.	МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ (МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕ-МУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУ-НОК ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬ-НОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ».)	53
5.1	Постановка оперативних цілей семінару	60
5.2	Вибір типу семінару і форми його проведення	61
5.3	Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару	62
5.4	Проектування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі	63
5.5	Аналіз базових умов навчання	64
5.6	Проектування основної частини реферативного семінару.....	66
5.7	Висновки до методичної частини	73
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
	СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	76
	ДОДАТОК А (ПЛАКАТИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ)	79

ВСТУП

Розвиток машинобудування пред'являє досить тверді вимоги до робочих властивостей виробів: їх опірності зношування, корозії й іншим видам зовнішніх впливів.

Руйнування деталей машин, інструмента й інших виробів у переважній більшості випадків починається з поверхні, і саме до поверхневих шарів ставляться перераховані вище вимоги. [1]

Різальний інструмент і деформуюче оснащення працюють у надзвичайно тяжких умовах під впливом високих тисків на поверхнях контакту й в умовах високої температури. Із цих причин інтенсивність зношування даних видів інструмента в тисячі й десятки тисяч раз перевершує інтенсивність зношування тертьових деталей машин. У результаті зношування ріжуче лезо інструмента втрачає свою первісну форму й, як наслідок, здатність, що ріже. Для відновлення ріжучої здатності інструмента проводиться заточування його робочих поверхонь, у процесі чого з робочої частини зрізуються досить більші шари дорогого інструментального матеріалу, який переводиться в шлам. Крім того, на зміну інструмента, що затупився, затрачається час, який збільшує тривалість операції механічної обробки, а отже і її вартість. У цілому все це суттєво здорожує механічну обробку й обмежує її ефективність. Тому, завдання зменшення інтенсивності зношування різальних інструментів і збільшення строку його служби було й залишається однією з головних завдань металообробки. [2]

Одним з найбільш ефективних і найбільш застосовуваних у промисловості методів підвищення надійності й довговічності відповідальних деталей машин, інструмента й технологічного оснащення є хіміко-термічна обробка.

Хіміко-термічна обробка полягає в комбінації термічного й хімічного впливу на них з метою такої зміни сполуки, структури й властивостей поверхневого шару, яке дозволяє суттєво підвищити стійкість цих інструментів в експлуатації. При хіміко-термічній обробці інструментів відбувається поверхневе насичення стали тем або іншим елементом або комплексом

елементів (вуглецем, азотом, кремнієм, бором і ін.) шляхом їхньої дифузії в атомарному стані із зовнішньої газової, твердої або рідкого середовища. [3]

У результаті ХТО (хіміко-термічної обробки) змінюються хімічна й фазова сполука, структура й властивості поверхневих шарів матеріалу. Зміна хімічного складу обумовлює зміну структури й властивостей дифузійного шару.

Товщина дифузійного шару, його фазова сполука й властивості (твердість, пластичність, зносостійкість і ін.) і визначають ступінь підвищення стійкості інструментів в експлуатації в результаті їх хіміко-термічної обробки в тієї або іншому середовищі при обраних параметрах процесу. Причому результати досліджень показують [3], що одночасне комплексне насичення декількома компонентами більш ефективно, ніж однокомпонентне.

З різних видів хіміко-термічної обробки в інструментальному виробництві на спеціалізованих інструментальних заводах найбільше легко впроваджуються процеси хіміко-термічної обробки, що протікають в умовах нагрівання у звичайних камерних печах з окисною атмосферою без використання спеціального устаткування й обладнання. При цьому доцільно застосування дифузионноактивних середовищ, які можуть бути нанесені на робочі поверхні деталей тонким шаром, забезпечуючи поряд з хіміко-термічною обробкою й захист поверхневих шарів від окиснення й знеуглецювання. У більшості випадків хіміко-термічна обробка інструментів проводиться після їхнього шліфування й заточення, але іноді вона сполучається із загартуванням.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ ПІДПРИЄМСТВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1. Сучасний стан машинобудування України та тенденції його розвитку

Аналіз тенденцій розвитку машинобудівних підприємств у контексті сучасних соціально-економічних трансформацій показав її невідповідність пріоритетам розвитку національної економіки. У машинобудівному комплексі спостерігається зменшення обсягів діяльності, низький рівень рентабельності машинобудування та нестача коштів для фінансування техніко-технологічного оновлення, інноваційного та соціального-економічного розвитку. Таким чином, основою подальшого розвитку машинобудівної галузі України є подолання кризових явищ, стабілізація і стійкий розвиток галузі, який можливий шляхом технологічної і структурної перебудови виробництва, сфери послуг та інших галузей для випуску сучасної конкурентоспроможної продукції. Машинобудування відноситься до провідних галузей промисловості. На машинобудівельних підприємствах створюються засоби праці для підприємств інших галузей економіки, використовуючи досягнення наукових досліджень, передовий вітчизняний досвід та досвід розвинутих країн. Діяльність цих підприємств спрямована на виготовлення машин і обладнання, що забезпечують загальне зростання обсягів виробництва та продуктивності праці, зниження собівартості продукції.

Провідна роль у забезпеченні економічного зростання, соціального розвитку та науково-технічного прогресу України належить промисловості. У структурі промисловості України найбільшу питому вагу мають галузі важкої індустрії, особливо галузь машинобудування. Машинобудування є фундаментом економічного потенціалу країни, від рівня ефективності діяльності його підприємств залежить стан її соціально-економічного розвитку. Машинобудування – одна з найважливіших галузей виробництва, що значно впливає на продуктивність, ефективність і прогрес майже у всіх сферах людської діяльності. В Україні галузь машинобудування представлена

металургійним, гірничошахтним, підйомно-транспортним, енергетичним, судно-, авіа-, і автомобілебудуванням, виробництвом машин і механізмів для хімічної і нафтохімічної, легкої та харчової промисловості, сільськогосподарським, будівельно-дорожнім машинобудуванням та виробництвом машин для комунального господарства, виробництвом верстатів і інструментів та машин і обладнання для збройних сил.

Стабільний розвиток машинобудування забезпечує рентабельність і конкурентоздатність більшості товарів і послуг, зростання інтелектуального й матеріального рівня населення, соціальний захист і розвиток економіки як окремих регіонів, так і держави.

Таким чином, сприяння розвитку машинобудівної галузі є пріоритетним стратегічним напрямком щодо забезпечення стабільного соціально-економічного становища країни. Стан та розвиток машинобудування має важливе значення не лише для промисловості, а й для економіки в цілому. Адже, потенціал та наявні виробничі можливості даної галузі є основою стратегічної стійкості національної економіки.

Ефективність роботи підприємств машинобудівельної галузі залежить від сукупності організаційно-економічних та соціальних факторів. Серед них — спеціалізація та кооперування виробництва, їх розміщення на території окремих регіонів, впровадження у виробництво нових типів машин та устаткування, вдосконалення галузевої структури, наявність кваліфікованих кадрів.

На роботу підприємств впливають визначені державою умови для економічної самостійності в комерційній діяльності тощо. Важливе значення має територіальне розташування підприємств машинобудування, використовуючи позитивні умови для роботи підприємств на території окремих регіонів, окремих міст, враховуючи забезпеченість підприємств кваліфікованими кадрами, паливно-енергетичними ресурсами, можливостями для надійного та ефективного обслуговування тощо. У зв'язку з цим значна увага приділяється впровадженню спеціалізації та кооперування виробництва у машинобудуванні. Спеціалізація виробництва передбачає концентрацію випуску конструктивно і технологічно подібних виробів, а також концентрацію

на окремих підприємствах. Вона сприяє зростанню продуктивності праці за рахунок використання спеціалізованого високопродуктивного обладнання, раціональних технологічних процесів та організації праці. Підготовка та підвищення кваліфікації фахівців є актуальною і важливою складовою ринку праці. Саме тому ефективне функціонування будь-якої держави визначається насамперед ступенем підготовки її кадрів.

1.2. Професійна підготовка фахівців підприємств інструментального виробництва

Професійна підготовка — здобуття кваліфікації за відповідним напрямом підготовки або спеціальністю.

Не сприяють оперативному і гнучкому реагуванню на попит у фахівцях діючі умови і процедура ліцензування освітньої діяльності професійно-технічних навчальних закладів, підприємств, організацій і установ, що здійснюють підготовку робітничих кадрів на виробництві.

Ні для кого не секрет, що за нинішніх умов життя, темпів розвитку промисловості, безперервної автоматизації та оптимізації роботи механізмів і виробничих процесів, велику популярність на ринку праці користується професія інженера, особливо інженера-машинобудівника.

Інженер – це людина, яка здобула освіти за обраною спеціальністю. Інженер – це творець техніки. Інженер – це людина, яка професійно займається інженерією, тобто на основі поєднання прикладних наукових знань, математики та винахідливості знаходить нові рішення технічних проблем. Тобто, виходячи з цих загальновживаних значень слова «інженер» зрозуміло, що цій професії може присвятити себе тільки людина з неабиякими здібностями, які ґрунтуються на знанні точних наук, логічному мисленні, нескінченному терпінні та постійному бажанні вдосконалювати світ. Латиною *ingenium* – здатність, винахідливість, що є свідченням того, що інженер, швидше за все,

людина-мисляча, яка перебуває в безперервному пошуку відповідей на складні технічні завдання.

Щодо «машинобудування», то тут також не існує єдиного визначення, оскільки воно охоплює широкий спектр галузей праці та науки. Узагальнено можна сказати, що машинобудування – це важлива галузь промисловості, яка поєднує проектування, виробництво та експлуатацію машин та інструментів. З іншого боку – це напрями підготовки до закладу вищої освіти, які готують галузевих фахівців освітніх рівнів бакалавр, магістр.

Сучасний світ складно уявити без машинобудування, оскільки ця галузь є однією з найважливіших напрямів функціонування та розвитку промисловості у всіх країнах світу. Оскільки, представлена галузь промисловості та науки є гігантською системою обсягів роботи та дослідів, то доцільно розглядати її за окремими напрямками: автомобілебудування, електроніка, аерокосмічна галузь, яка належить до сфери високих технологій; важке машинобудування, яке виробляє машини та обладнання для гірничодобувної, енергетичної та металургійної промисловості; корабле- та локомотивобудування, хімічне машинобудування, машинобудування у легкій промисловості.

Як бачимо, інженер-машинобудівник надзвичайно науково- і трудомістка робота, яка вимагає неабияких знань, а найважливіше, більшого бажання бити технічним фахівцем і створювати нові механізми і машини. При сучасному розвитку ІТ-технологій, інженери-машинобудівники мають можливість застосовувати такий інструментарій як програмні продукти, що дозволяє моделювати різноманітні технічні об'єкти та їх роботу, проводити віртуальне випробування створених моделей, застосовувати системи автоматизованого проектування та системи управління життєвим циклом об'єкта, для того, щоб заощадити час і підвищити точність кінцевого продукту при проектуванні: заводів-виробників, верстатів, промислового обладнання, систем нагрівання та охолодження, авіаційних та транспортних систем тощо. Інженери-машинобудівники працюють на найбільш високооплачуваних посадах, мають попит як в Україні, так і за кордоном, але передумовою цього, для майбутнього

фахівця, має стати отримання технічних знань в одному з галузевих закладах вищої освіти.

В Україні існує багато закладів вищої освіти технічного спрямування, де можна отримати зазначену спеціальність.

Видавничо-поліграфічний інститут НТУУ "КПІ", Вінницький національний аграрний університет (ВНАУ), Вінницький національний технічний університет (ВНТУ), Державний біотехнологічний університет, Державний університет економіки і технологій, Дніпровський державний технічний університет (ДДТУ), Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (ДНУ), Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), Житомирська політехніка, Закарпатський НКЦ Національного університету водного господарства та природокористування, Запорізька державна інженерна академія (ЗДІА), Інститут інтегрованих форм навчання НМетАУ, Інститут інтегрованих форм навчання НМетАУ, Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА), Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Криворізький національний університет, Луцький національний технічний університет (ЛНТУ), Львівський національний університет природокористування, Мукачівський державний університет (МДУ), Національна металургійна академія України (НМетАУ), Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (НТУ ХПІ), Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" (КПІ), Національний університет "Одеська політехніка", Національний університет "Чернігівська політехніка", Національний університет «Запорізька політехніка», Національний університет «Львівська політехніка» (НУ «ЛП») та ННІ «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна.

1.3 Висновки до розділу 1

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розглянули актуальність професійної підготовки фахівців підприємств інструментального виробництва, теоретично обґрунтували та проаналізували процес професійної підготовки вищезазначених фахівців; теоретично обґрунтовано шляхи та засоби освоєння професійних знань та умінь, необхідних для отримання відповідного до вимог рівня професійної підготовки фахівців інструментального виробництва.

2. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

2.1 Аналіз основних причин виходу з ладу різних видів інструмента

Створення нових покриттів інструментів досить складно технологічно й вимагає багато часу, тому що існує багато варіантів базового матеріалу, підготовки базового матеріалу, структури покриття й методів нанесення покриття. Оцінка нових інструментів винятково на підставі стандартного випробування методом дряпання не дає досить достовірних результатів, тому що до інструмента в процесі різання пред'являються досить різноманітні вимоги, які часто визначаються специфікою оброблюваного матеріалу [2].

Важливе значення в проблемі підвищення стійкості інструмента – це розв'язок завдань боротьби з передчасним його зношуванням. Роботи в області обробки різанням, зосереджують увагу на змінах, що відбуваються головним чином у поверхневих шарах оброблюваної деталі, а також у контактному шарі різального інструменту

Матеріал для виготовлення різального інструменту повинен мати високу твердість (HRC 62-66) і зносостійкістю, здатністю тривалий час зберігати ріжучі властивості крайки в умовах тертя.

Стійкість інструмента характеризується його здатністю без переточування тривалий час обробляти заготовки відповідно до технічних вимог. Стійкість визначається часом безпосередньої роботи інструмента (крім часу перерв) між переточуваннями; цей час називається періодом стійкості інструмента.

На стійкість різального інструменту зі швидкорізальних сталей також впливає цілий ряд факторів, що залежать від хімічного складу, технології переділу, конструкції інструмента, його термічної обробки й умов різання [3].

Тому основною вимогою, пропонованим до інструментальних матеріалів, є висока теплостійкість, здатність зберігати твердість і ріжучі властивості при тривалому нагріванні в процесі робіт. Цим вимогам у більшій мері задовольняють швидкорізальні сталі.

Швидкорізальні сталі, що мають більш високу теплостійкість і

прокаліваємость, застосовують у більш тяжких умовах роботи. Швидкорізальна сталь після загартування й багаторазової відпустки має структуру високолегованого відпущеного мартенситу з карбідами. Вона зберігає первісну структуру практично незмінної при нагріванні до 600—620 °С. Теплостійкість швидкорізальних сталей обумовлена легуванням їх карбідоутворюючими елементами: вольфрамом, ванадієм і молібденом у кількостях, достатніх для зв'язування майже всього вуглецю в спеціальні карбіди. Вони коагулюють при температурах більш 600 °С [4].

У роботі Ю.Н. Кузменко, Б.Є. Натапова розглянутий вплив одного з таких факторів, як форма й розподіл карбідної фази в металі. Проведена робота підтвердила, що на стійкість інструмента більший вплив виявляє розмір карбідних виділень. Показане, що стійкість різців з тонкою формою виділення карбідної фази вище стійкості різців із грубою карбідною фазою. Це підтверджує, що між карбідною неоднорідністю й експлуатаційними властивостями інструмента існує складна залежність [5].

Одним з можливих розв'язків даної проблеми є виготовлення різального інструменту з порошкової швидкорізальної сталі. Дрібні рівномірно розподілені карбіди роблять порошкову сталь більш міцної в порівнянні зі звичайної. Це має особливе значення при видаленні великого припуску й обробці з ударом [5].

Поряд із цим порошкова швидкорізальна сталь має одним недоліком: вона дорожче звичайної, але додаткові витрати компенсуються підвищенням продуктивності й стійкості інструмента. Досвід промислового застосування різального інструменту з порошкових швидкорізальних сталей показав, що найбільш характерними причинами виходу інструмента з ладу є зношування й сколювання робочої частини, причому частка інструмента, що вийшов з ладу в результаті викрашування, вище чому в результаті зношування. Особливо це проявляється на інструменті з порошкової швидкорізальної сталі, який у процесі експлуатації випробовує ударні навантаження [5].

У виробництві зустрічається два механізми руйнування ріжучої частини інструмента: крихке (викрашування ріжучих крайок і відколи ріжучої частини)

і пластичне (три види зношування).

Викрашування проявляється у відділенні малих часток ріжучої крайки й у деяких випадках пов'язане з поверхневими дефектами інструментального матеріалу, неоднорідністю структури, залишковими напругами.

Відколи проявляються у відділенні щодо великого об'єму ріжучої частини інструмента [2]. Основними факторами, що визначають сколювання, є властивості оброблюваного й інструментального матеріалів, форма ріжучої частини, товщина зрізу.

Інша причина виходу з ладу різального інструменту – пластичне руйнування, що полягає в пластичному плинні поверхневих шарів інструмента і їх наступному зрізі. Цей вид руйнування відбувається при режимах різання, що забезпечують високу температуру в зоні контакту й зниження твердості поверхневого шару інструмента, а також при низьких швидкостях різання. Результатом цього виду руйнування є втрата формостійкості ріжучої частини, що приводить до втрати працездатності.

Зношування інструмента тільки по задній грані, на якій утворюється майданчик зношування, характерно для першого виду зношування. Утвір на передній грані лунки певної ширини й глибини, і зношування по задній грані характерно для зношування другого роду. По розмірах утвору лунки оцінюється ступінь зношування й визначається оптимальний момент переточування інструмента. Показником зношування третього роду є зношування тільки по передній грані.

Інструмент зі швидкорізальної сталі найчастіше виходить із ладу внаслідок «природнього» зношування [6], характерний адгезією й стиранням граней інструмента, а також невисокими швидкостями різання, підвищеною температурою в зоні контакту інструмент-заготовка, у якій відбувається інтенсифікація процесу дифузії.

За даними експлуатації різального інструменту у виробничих умовах Corum Group (ПАТ «Світло шахтаря») в таблиці 2.1 представлений систематичний аналіз основних причин виходу з ладу інструмента [2]

Таблиця 2.1— Причини виходу з ладу інструмента зі сталі Р6М5

№ п/п	Вид інструмента	Питома вага даної причини виходу з ладу, %					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Протягання	3-5	1-2	71-76	12-14	3-5	3-5
2	Прошивання	1	3-5	—	94-96	—	—
3	Шевер	5-8	25	67-70	—	—	—
4	Фреза черв'ячна	1	1-2	8-9	80-83	2	5-8
5	Розгорнення	1	1-2	93-97	—	—	2-4
6	Зенкер	2-4	3-5	53-57	23-24	2-3	12
7	Свердел	10-12	3-6	40-44	27-29	8	6-7
8	Мітчик	4-6	6-8	13-16	9-11	60	3-4
9	Довб'як	5-8	12-5	5-6	48-55	18	4-6
10	Різець фасонний	1	1-2	24-26	56-61	2-3	10-12

Примітка: I-Поломка; II-Сколювання (осередкові руйнування поблизу ріжучої крайки); III,IV- стирання робочих поверхонь у нормальних умовах роботи й при значній пластичній деформації; V- змінання ріжучої крайки; VI- схоплювання

Таблицю 2.1 можна представити у вигляді діаграми (рис. 2.1) причин втрати експлуатаційних властивостей по видах інструмента.

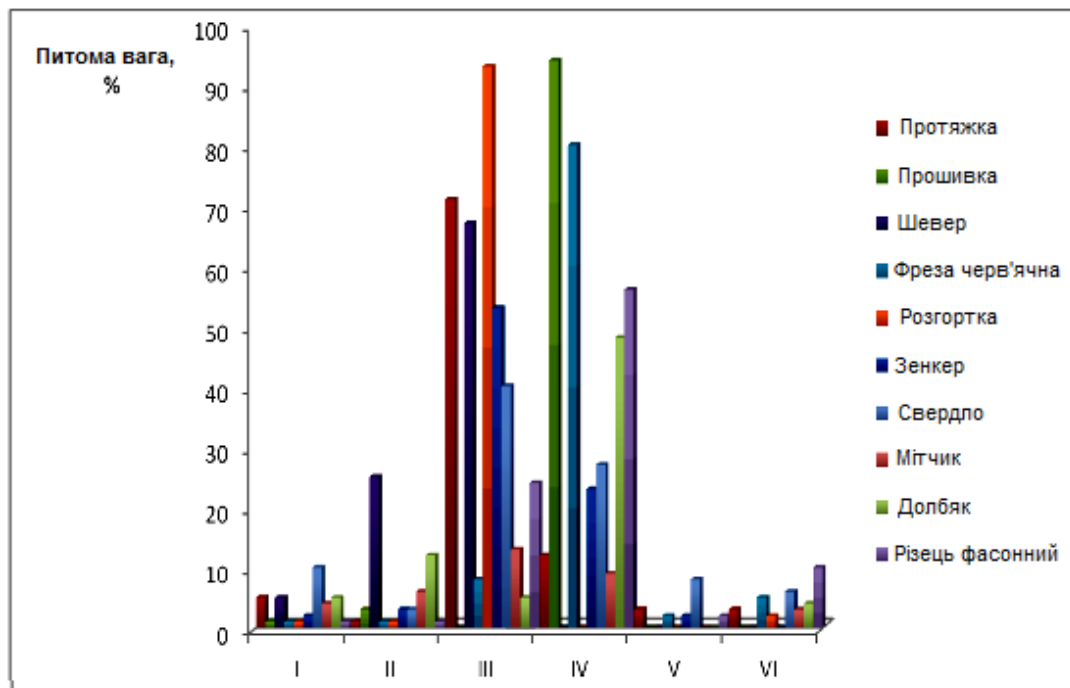


Рисунок 2.1 — Причини втрати експлуатаційних властивостей по видах інструмента

На основі даних наведених у таблиці можна встановити найбільш характерні особливості виходу з ладу інструмента й причини його переважного зношування.

Згідно з діаграмою (рис.2.1) стирання робочих поверхонь у нормальних умовах роботи й при значній пластичній деформації, а також зминання ріжучої крайки є результатом перезавантаження ріжучої частини інструмента. Причин перезавантаження кілька [2]:

- мала твердість інструментального матеріалу, через невідповідний режим термообробки;
- знижені показники механічних властивостей поверхневого шару інструмента через неправильно проведені операції фінішної механічної обробки;
- інтенсивне адгезійне взаємодія між матеріалами оброблюваної деталі й інструмента;
- відхилення від оптимальних режимів механічної обробки (завищення глибини, подачі й швидкості різання, що приводить до підвищення температури поблизу ріжучої крайки);
- застосування недостатньо ефективних ЗОТС або перебої в їхній подачі;
- завищення тривалості експлуатації інструмента в умовах прогресуючого затуплення [2].

Протяжка — багатолезовий інструмент. Працює вона в умовах складного напруженого стану. Тіло протягання має велика кількість концентраторів напруг (западини між зубами протягання). Зуби протягань виконують різні функції у формуванні поверхні деталі й працюють у різних умовах. Ушкодженнями першого ряду зубів є зазубрювання ріжучої крайки, вириви металу по задній поверхні й поблизу кутів ріжучих зубів. Менш чітко ці дефекти прослідковуються в наступних рядів ріжучих зубів.

З аналізу причин виходу з ладу протяжок [2], використовуваних на виробництві поломка ріжучої частини є відносно рідким явищем і походить від відступів режимів термообробки або правил експлуатації. Сколювання й викрашування окремих зубів можливі на заключних стадіях роботи після кількарязового переточування.

При «нормальному» зношуванні на задній поверхні утворюється

стрічка. Розширення зони зношування приводить до зростання зусиль різання й необхідності переточування. При наявності дефектів шліфування стирання відбувається особливо інтенсивно, також відбувається налипання, яке проявляється в збільшенні діаметра окремих зубів. Ряд перших зубів, що калібрують, працює в умовах підвищених навантажень, що підсилює їхнє зношування. На наступних стадіях роботи процес стабілізується.

Переважаючою причиною виходу протяжок із ладу, усіх типів, є «нормальне» зношування, що приводить до зменшення розмірів їх перетину по зубах. Інструмент знімається з експлуатації.

Вихід інструмента за рахунок поломок найбільш імовірний для свердлів (10-12%), тому що в довгомірного інструмента необхідне для обробки зусилля передається через увесь стрижень ослаблений наявністю канавок, які видаляють стружку.

При свердлінні має місце зношування свердла по передній і задній поверхнях - зношування другого виду.

Розгортка чистовий інструмент, за допомогою якого проводиться доведення попередньо просвердленого отвору, знімається мінімальний припуск. Глибина різання при розгортанні незначна й кількість матеріалу, що знімається, невелике. Характерне зношування першого роду.

Для черв'ячних фрез початкова стадія експлуатації характеризується утвором зони зношування по передній поверхні поблизу ріжучої крайки. Далі, при роботі починають з'являтися осередки руйнування по бічній поверхні (рис. 1.2.) і особливо в кутових зонах зубів, що приводить до зміни геометрії інструмента. Підвищення швидкості позначається в інтенсивності пластичного деформування поверхневого шару інструмента як по передній, так і по задній поверхні, при цьому підсилюються процеси налипання матеріалу заготовки [2].

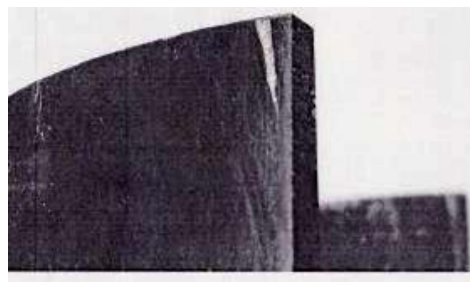


Рисунок 2.1 - Ризка по бічній поверхні зуба

Особливістю роботи Довб'яка є більші контактні тиски. Швидкість різання при зубодолбленні невелика. Високий відсоток поломок його зуба (5-8%) пояснюється наявністю ударних навантажень. Місцева поломка в межах одного зуба виводить інструмент із ладу.

Прошивка для обробки круглих отворів працюють в умовах високого тиску на робочій поверхні й при низьких швидкостях. Спостерігається кілька механізмів зношування, найбільш виражені окисно-абразивні процеси [2]. Переважними є напруги стиску. Геометрія зуба така, що локальні руйнування малоімовірні (1% поломки).

Основною причиною виходу з ладу холодно-деформуючого оснащення (гибочні, витяжні штампи, фільтери, волоки й ін.) є зношування [9].

З аналізу даних таблиці 1.1 випливає, що переважною причиною виходу з ладу більшості типів інструмента є зношування в нормальних умовах і стирання. Тому актуальні вишукування способів і режимів обробки, заснованих на взаємозв'язку структури інструмента з конкретними умовами експлуатації.

2.2 Методи й способи хіміко-термічної обробки для підвищення стійкості інструмента

Застосування хіміко-термічної обробки, за рахунок якої забезпечується зовсім новий стан матеріалу в контактній поверхні, одне з ефективних напрямків підвищення терміну служби технологічного оснащення [4]. Основна перевага використання хіміко-термічної обробки інструмента — можливість одержання на поверхні дифузійного шару зі структурою, що забезпечує істотне підвищення його працездатності в умовах високих тисків і температур. Найбільший інтерес представляють методи, які можна застосовувати після процесу шліфування.

Однак не завжди застосування покриттів для різального інструменту економічно обґрунтовано й приводить до очікуваного ефекту. Для того щоб оцінити доцільність і ефективність їх використання необхідне знання основних принципів застосування інструмента зі зносостійкими покриттями.

Ефективність застосування зносостійких покриттів знижується при використанні недосконалого верстатного встаткування або ж при режимах

обробки, що визначають ударне механічне руйнування інструмента. На жаль, зношеність верстатного парку багатьох металообробних підприємств зводить переваги такого інструмента до мінімуму.

Існуючі методи хіміко - термічної обробки можна розділити на чотири основні групи: насичення у твердих, рідких, газових середовищах і плазмі. Особливості кожного методу обумовлені агрегатним станом середовища, що насичує, і властивостями речовин-компонентів. Технологічний процес хіміко - термічної обробки у твердих і рідких середовищах, в обмазках можна проводити в повітряній (окисної) і контрольованій атмосферах або у вакуумі.

Найпоширенішим способом твердофазного насичення є насичення в герметизуючих контейнерах з використанням пічного нагріву [3]:

- з порошків, що насичують елементів (сплавів, феросплавів);
- в синтезованих середовищах (з порошків оксидів з добавкою відновлювача);
- в псевдо киплячих середовищах;

У порошкових середовищах з активаторами й в обмазках насичення відбувається в основному з газової фази; у порошкових середовищах без активаторів і у вакуумі з парової фази.

Хіміко-термічну обробку в рідких середовищах здійснюють у розчинах або розплавів електролітів (солей, оксидів) і розплавах металів:

- рідинне (без електролізне) насичення проводять у розплавах на основі елемента, що насичує, або його сполук з різними добавками.
- електролізне насичення здійснюють у розплавах на основі нейтральних солей з добавкою феросплавів або хімічних сполук, що насичують елементів із пропусканням постійного електричного струму.

При хіміко-термічній обробці в рідких середовищах швидкість насичення зростає за рахунок активації поверхні сплаву, що насичується, і більшої рухливості елемента, що насичує, у рідкому середовищі (у порівнянні із твердофазної дифузії). При електролізному насиченні електромагнітне поле забезпечує спрямований рух іонів елемента, що насичує, і додаткову активацію поверхні (виріб, що насичується, є катодом).[4]

При хіміко - термічної обробці в обмазках речовина постачальник елемента, що насичує, уводиться в середовище, що насичує (обмазку) у вигляді порошку, а сполучне рідко подібні компоненти. Залежно від сполуки обмазки, її консистенції й температурно-тимчасових умов хіміко-термічної обробки насичення йде з газової або рідкої фази. Насичення за рахунок твердофазного контакту відбувається в будь-яких умовах.

Насичення в газових середовищах проводять у парах або газах елементів, що насичують; у газоподібних сполуках елементів, що насичують (кисневих, водневих і ін.). Контрольовані процеси газової хіміко-термічної обробки проводять у спеціально створених атмосферах з контрольованим потенціалом насичення.

Метод хіміко-термічної обробки в іонізованих газах здійснюється в особливому середовищі, що насичує (плазмі) і складного технологічного встаткування. У плазмі тліючого розряду в результаті бомбардування, що насичує поверхні іонами відбувається іонна імплантація, яка супроводжується дифузійним перерозподілом елементів. Питома потужність розряду є критерієм активності, що насичує середовища.

На світовому ринку технологій по зміцненню поверхні інструмента найбільше широко представлено два методи: метод хімічного осадження (Chemical Vapour Deposition — CVD) і метод фізичного осадження покриттів (Physical Vapour Deposition — PVD). У нашій країні більш широке промислове застосування одержали PVD способи нанесення захисних покриттів. Технології CVD мають на увазі використання дорогих високочистих хімічних реагентів (TiCl_4 , NH_3 і т.д.), точний контроль продуктів хімічних реакцій у робочій камері. Процеси CVD протікають при високих температурах 800-1100°C і більш високому тиску 100-1000 Па. У результаті метод абсолютно непридатний для створення покриттів на виробках зі швидкорізальної сталі. Навіть для твердих сплавів такі температури приводять до негативних наслідків – у поверхневому шарі спостерігається зниження в'язкості сплаву з покриттям у порівнянні із твердим сплавом без покриття [2].

Усі процеси PVD відбуваються у вакуумі або в атмосфері робочого газу

при досить низькому тиску (близько 10-2 мбар). Це необхідно для полегшення переносу часток від джерела (мішені) до виробу (підложці) при мінімальній кількості зіткнень із атомами або молекулами газу. Це ж умова визначає обов'язковість прямого потоку часток. У результаті покриття наноситься тільки на ту частину виробу, яка орієнтована до джерела часток. Для рівномірного нанесення покриття необхідно систематизований рух матеріалу або застосування декількох, певним чином розташованих джерел. У той же час, покриття наноситься тільки на поверхні «у прямої видимості джерела», залишаючи інші без покриття.

Основними факторами, що визначають якість покриття, нанесеного методом фізичного осадження, є чистота вихідних матеріалів і реакційного газу, а також необхідний рівень вакууму.

Проблемна властивість таких покриттів — необхідність використання спеціального устаткування, окремих площ і приміщень, кваліфікованого обслуговуючого персоналу. Що випускається для цього встаткування призначене для хіміко-термічній обробці більших партій (більш тисячі штук), у той час зміцнювати інструмент у невеликих кількостях представляється не доцільним. Це пов'язане з перевитратою енерговитрат, що й насичують матеріалів при недозавантаженнях устаткування.

Тонкі зносостійкі покриття не можуть суттєво впливати на зношування інструмента з невисокими механічними характеристиками, високо твердий тонкий шар покриття на м'якій або недостатньо міцній підложці працювати не буде. Малоефективне нанесення зносостійких покриттів на різальний інструмент із вуглецевих нелегованих інструментальних сталей В8 (В8А) — В13 (В13А), які не мають високу теплостійкість (170—250 °С).

Найбільше сильно підвищується зносостійкість робочих поверхонь деталей після процесів боріровання, хромування, боросіліціювання, у результаті здійснення яких у поверхневих шарах формуються надтверді боріди заліза, карбіди хрому. Процеси проводяться при температурі 900—1100 °С. Використання високотемпературних методів хіміко - термічної обробки, для підвищення властивостей серцевини виробу вимагає наступного їхнього

загартування, що викликає зміна розмірів, і приводить до необхідності остаточної механічної обробки робочих поверхонь. Це частково або повністю усуває ефект від зносостійких покриттів, що формуються при хіміко - термічній обробки дифузійних, а крім того утрудняє або унеможлиблює механічне доведення. [4]

У цей час борування є ефективним методом хіміко-термічної обробки застосовуваному на ПАТ «Світло шахтаря» з метою підвищення довговічності виробів з інструментальних сталей. Товщина й структура отриманих дифузійних покриттів, а також лежачих під ними перехідних зон, залежать від хімічного складу й методу борування. [4]

Промислове застосування одержало борування в порошкових сумішах, електролізне й рідинне борування й борування з обмазок.

Різновидом порошкового борування є метало термічний метод, відмітною рисою якого є те, що для одержання активних атомів бору необхідно відновити B_2O_3 такими елементами, як Al, Mg, Ca, Zr, Ti, Si.

Поряд з порошковим боруванням досить докладно описується рідинне борування. Насичення проводиться в розплавах:

- 1) нейтральних солей (50% $BaCl_2$ і 50% NaCl) з додаванням борвмісних речовин (карбїду бору, феробору, аморфного бору і т.д.);
- 2) боратов ($Na_2B_4O_7$) з додаванням борвмісних електрохімічних відновлювачів (бору, нікель бору та і.н);
- 3) боратов з додаванням хімічно активних металів (Ca, Mg, Al, Ti), металургійних розкислювачів або спеціальних лігатур.

Гідність цього методу: рівномірний і щільний дифузійний шар, борірование вироби можуть бути будь-якої конфігурації. До недоліків процесу ставляться: помітне віднесення розплаву з оброблюваними деталями, необхідність очищення поверхні від залишків середовища, що очищає, низька стійкість тиглів. Крім того, обробка великогабаритних виробів пов'язане з виготовленням спеціального потужного нагрівального встаткування, що практично важко здійснити у виробничих умовах. [3,4,10]

Електролізне борування забезпечує високу швидкість формування

дифузійних шарів. Оброблювані деталі в ланцюзі електролізу служать як катода. Анодом служать графітові стрижні. У якості середовища, що насичує, використовують буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ або сольові розплави на її основі NaCl , B_2O_3 і ін. Швидкість формування боридного шару приблизно вдвічі більше, чим при рідинному неелектролізному боруванні. Електролізному боруванні є ряд недоліків: складне встаткування, низька стійкість тиглів, нерівномірна товщина боридного шару, схильність жолобленню й деформації деталей, що насичуються, і необхідність їх промивання після насичення. Використовується при виробництві однотипних деталей [4,10].

Газове борування здійснюється в спеціальних герметичних установках. Деталь поміщають у муфель, через який з певною швидкістю пропускають газову суміш, що насичує (диборан або трьох хлористий бор + газ – розріджувач).

Недоліком цього методу слід уважати токсичність і агресивність борвмісних газів, складність їх герметизації й високу вартість.

Борування за допомогою сумішей і обмазок дає можливість здійснити зміцнення робочих поверхонь виробів практично будь-якої форми й габаритів без використання спеціального одладнання. При цьому, використовуючи суміші й обмазки різних сполук, можна змінювати властивості поверхневих шарів виробів, одночасно захищаючи їх від окиснення й знеуглецювання.

Враховуючи недоліки представлених способів хіміко - термічної обробки, найбільш доцільним є застосування процесів, що відбуваються при температурах, які не перевищують температуру відпустки загальноприйняту для високолегованих інструментальних сталей.

Принциповою перевагою низькотемпературного дифузійного зміцнення інструмента й деталей машин ($450-600^\circ\text{C}$) є сполучення із процесом нагрівання під відпустку.

Низькотемпературної хіміко - термічної обробці зазнають деталі виготовлені в остаточний розмір, включаючи шліфування й полірування. У результаті такий хіміко - термічної обробки чистота поверхні й розміри не змінюються, а твердість і зносостійкість зростають. Тому що температура

хіміко - термічної обробки не перевищує температури відпустки, то зберігаються структура й властивості серцевини виробу [4].

2.3 Структура й властивості інструментальних сталей після різних видів хіміко-термічної обробки

У літературі, присвяченій проблемі зміцнення інструмента приділяється увага процесу азотування [4,7,8].

Азотування інструментальних сталей застосовують для інструментів великого перетину, насамперед штампів і форм лиття. Обробку проводять у якості остаточної після відпустки і як попередню – перед загартуванням. Після остаточної обробки проводять оксидування.

В азотованому шарі теплостійких і напівтеплостійких інструментальних сталей утворюються складні нітриди вольфраму й хрому $(W, Fe)_2N$ і $(Cr, Fe)_2N$ і карбонітридні фази $M_{23}(C, N)_6$, $M_3(C, N)$. У шарі нетеплостійких сталей, легованих хромом, утворюється карбонітрид і зростає кількість карбіду M_3C . Крім того, L- фаза всіх сталей насичується азотом. Нітридні фази мають більш високу твердість (1300-1400 HV у швидкорізальних сталей і 1100-1200 HV у штампових сталей з 12% хрому), чому карбонітридні [10].

У мікроструктурі правильно азотованої стали немає чіткої границі між азотованим шаром і низлежачими шарами. Нітриди й карбонітриди спостерігаються у вигляді дрібних округлих часток. Зі збільшенням тривалості процесу до 6 годин при 520°C и особливо при 540-560 C° утворюються нітридні прожилки й включення з-фази, сильно охрупчивающие сталь [2,5,10].

Азотування як остаточна обробка доцільно для інструментів, насадна й кріпильна частина яких може мати твердість 30 HRC . Твердість поверхневого шару кріпильної частини, виготовленої зі сталей 40X, 45 і ін., на глибину до 0,2 мм зростає до 50HRC. Обробка застосовна для теплостійких і напівтеплостійких сталей.

Присутність вольфраму, молібдену, хрому в α - розчині цих сталей сприяє утвору дисперсних нітридних фаз більшої твердості й стійкості проти коагуляції.

Хром, особливо вольфрам і молібден, а також кремній утрудняють дифузію азоту. Ці елементи збільшують твердість, але зменшують товщину азотованого шару. У цім же напрямку впливають карбідні частки, особливо дисперсн, що виділилися при відпустці. Із цієї причини будова й властивості азотованого шару залежать не тільки від режиму азотування, але й від сполуки стали і її попередньої термічної обробки.

Підвищення температури загартування, що збільшує концентрацію α -розчину й кількість дисперсних карбідів, що виділилися при відпустці, сприяє зростанню твердості, але зменшує товщину шару. Підвищення температури відпустки впливає в протилежному напрямку.

Міцність азотованої стали зі збільшенням товщини шару знижується спочатку значно, після менш інтенсивно. Більш різке зниження міцності особливо у швидкорізальних сталей настає при утворі з-фази. В'язкість і міцність шару залежать від температури, що передувала загартування, вони вище, якщо менше зерно, і нижче, отже, температури загартування [3,4,10].

Азотування, незважаючи на його охрупчиваючий вплив, не змінює чутливості до утвору тріщин розпалу, тому що воно підвищує стійкість проти взаємодії з рідким металом.

При роботі без динамічних навантажень рекомендується товщина шару 0,02-0,04 мм для швидкорізальної сталі; 0,08-0,12 мм для сталі з 6-18% Сг ; 0,18-0,20 мм для теплостійкої штампової сталі [1] .

Борування інструментальних сталей проводять у розплавах солей ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$), а також у порошкових сумішах і обмазках. Борирований дифузійний шар складається з борида FeB і тетрагонального борида Fe_2B стовпчасті кристали, що утворюють характерні. Під шаром боридов розташовується перехідний шар з α -розчину бору в залозі. Боридна зона має характерну голчасту будову. Голки боридов зростаючись у підставах утворюють суцільний боридний шар. При нагріванні бориди FeB стійкі до 800°C , Fe_2B до 1000°C . Установлене [4,10], що вуглець стали повністю витісняється із зони боридов углиб і залежно від виду легуючих елементів у сталі утворює вузьку або широку перехідну зону. В інструментальних сталей, легуваних

карбідоутворюючими елементами, які крім утвору карбідів, знижують коефіцієнт дифузії вуглецю в аустеніті, утворюється вузька перехідна зона. Тому що всі легуючі елементи утрудняють дифузію бору [4,10]. Хром і марганець при боруванні дифундують у зону боридов, утворюючи $(Fe, Mn, Cr)B$ і $(Fe, Mn, Cr)_2B$, які по будові аналогічні боридам FeB і Fe_2B . Кремній при боруванні дифундує із зони боридов углиб, при великій кількості кремнію в перехідній зоні може утворюватися графіт і феритної прошарок. Така будова дифузійного шару буде сколюватися.

Боридні шари володіючи високою твердістю мають підвищену крихкість. Найбільшою крихкістю має борид FeB (мікротвердість до 20 ГПа) у порівнянні з Fe_2B (мікротвердість ~ 14 ГПа) [2].

Насичення бором вуглецевих (стали 45,50) і легованих інструментальних сталей приводить до підвищення границі витривалості на 18-25 %, а межі корозійно-втомної міцності - на 50% [4]. Загартування з низькою відпусткою борованої стали знижує границя витривалості. Можливо це пов'язане з утвором у борованому шарі тріщин, підвищенням чутливості серцевини до концентрації напруги й різким зниженням залишкових стискаючих напруг або навіть зміною їх знака. Границя витривалості знижується й у високолегованих сталей, серцевина яких при охолодженні з температури борування гартується. Після борування й поліпшення границя витривалості виходить порівняно високим [4].

У порівнянні із загартованим і низько опущеним станом стали 45 двофазне борування підвищує абразивну зносостійкість в 3,5-6 раз, а однофазне в 2-3 рази. Висока мікротвердість боридного шару, що не уступає мікротвердості загартованої середньовуглецевої стали, зберігається до 700°C. Це дозволяє застосовувати борування для підвищення зносостійкості виробів, що працюють при високих температурах.

Борованні стали мають найвищу корозійну стійкість у водяних розчинах соляний, сарною й фосфорної кислот, при чому при однаковій товщині шару однофазні боридні шари мають більшу кислотостійкість, чому двофазні [4,10]. У розведених і концентрованих розчинах азотної кислоти боридні шари нестійкі, однак швидкість руйнування борированих сталей в 1,5-5 раз нижче,

чим неборированих.

Проблема знижень крихкості боридних покриттів вирішується у двох напрямках: створення дифузійних шарів з максимальним змістом фази Fe_2B аж до однофазних боридних покриттів; зниження крихкості боридних покриттів за рахунок їх легування.

У роботі [9] вказується, що вуглець зменшує, а легуючі елементи збільшують відносний зміст у шарі високоборною фази Fe_2B . Однофазні боридні покриття можна одержати при боруванні в обмазках з використанням енерговиделяючих паст, струмопровідних сумішей, при електролізі розплавів системи $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ і рідкому боруванні в розплавах бури з добавкою карбіду кремнію (феромарганцю, феросиліцію, силікомарганцю) [9, 10, 11].

Змісту вуглецю в сталі також впливає на твердість і крихкість боридов: чому воно більше, тем менше твердість і крихкість FeB . Це явище пояснюється зміною напруженого стану боридних покриттях внаслідок впливу вуглецю на фазові перетворення в серцевині стали. [9]

Легуючі елементи, вуглець і продіфундіровані елементи із середовища, що насичує, характерним образом розподілені в перехідних зонах, значно впливають на напружений стан у борированном виробі. Зі збільшенням змісту вуглецю в сталі зменшується значення й змінюється характер розподілу залишкових напруг у боридном шарі, завдяки чому підвищується зносостійкість.

Після рідинного борировання в розплаві ($30\% \text{B}_4\text{C} + 70\% \text{N}_2\text{B}_4\text{O}_7$, $t = 980^\circ\text{C}$ [4,10,11] установлене, що з підвищенням змісту кремнію в сталі абсолютні значення залишкових напруг у боридном шарі збільшуються, а при введенні нікелю й хрому зменшуються. Невеликі стискаючі залишкові напруги часто супроводжуються тріщинами в дифузійному шарі і його сколюванні. Чим жорсткіше умови, тем нижче рівень стискаючих напруг у дифузійному шарі.

Таким чином, борирование з успіхом може застосовуватися для підвищення робочих характеристик широкого кола деталей машин і інструментів. Борування підвищує довговічність матриць і пуансонів штампів холодного штампування в 2-13 раз, деталей штампів гарячого штампування в

1,5 - 3 рази. Стійкість борированих матриць наближається, а іноді перевищує стійкість твёрдосплавних матриць.[12]

Процес насичення сталей спільно бором і кремнієм проводять у порошках, розплавах. Що дифундує разом з бором кремній суттєво впливає на структуру, товщину, властивості дифузійних покриттів. При цьому в боросіліційованому шарі зменшується зміст щодо тендітної високобористої фази Fe_2B , з'являються силіциди $Fesi$, $Fesi_2$.

Наявність кремнію в бориде Fe_2B збільшує його твердість (12,9-15,1 ГПа). Навіть при незначному вмісті кремнію в шарі, якщо відсутні силіцидні фази, зносостійкість підвищується в 1,3-1,4 рази.

Крихкість бориду Fe_2B , легованого кремнієм, у порівнянні із крихкістю "чистого" бориду знижується майже на 30%.

При дифузійному насиченні легованих інструментальних сталей закономірності формування, структура й властивості комплексних боридних покриттів змінюються.

Для борованої сталі можна виділити чотири основні стадії зношування. На першій стадії воно носить переважно окисний характер, однак відзначається розвиток мікротріщин. Утворення їх пов'язане з тими або іншими дефектами боридного шару. На другій стадії відбувається подальший розвиток мікротріщин, утвору в контактній поверхні своєрідної сітки й поява окремих локальних викрашувань боридного покриття. На третій стадії відбувається інтенсивне дроблення карбідної зони із вдавненням у підшар окремих ділянок покриття й виходом невеликих ділянок α -фази. На четвертій стадії суцільний боридний шар відсутній, на поверхні тертя з'являються ділянки α - фази, розташованої між боридними голками. У місцях виходу її на поверхню, що контактує з контртелом, процес зношування здобуває характер, властивий незміцненої сталі.

Дослідження [3, 12] показують, що борохромовані, бороалітіровані й інші дифузійні покриття на основі фази Fe_2B у процесі зношування пручаються тендітному руйнуванню більшого ступеня, чому чисто борировані. При цьому навіть при порівняно жорстких умовах випробування ($p=15$ МПа), значного

викрашування елементів боридного шару не спостерігається. Це у свою чергу сприятливо позначається на зносостійкості.

2.4 Вплив хіміко-термічної обробки на стійкість різних видів інструментального оснащення

Хіміко-термічну обробку найбільше раціонально застосовувати для підвищення стійкості різних видів великогабаритного оснащення, зміцнити яку іншими методами досить важко. Особливої уваги заслуговує гарячештампований інструмент, який експлуатується у важких температурно-силових умовах і тому швидко виходить із ладу. Хіміко-термічна обробка помітно впливає на стійкість штампів гарячого деформування металів у тому випадку, якщо основною причиною їх виходу з ладу є зношування елементів робочих поверхонь. Втрата експлуатаційних властивостей у результаті зношування характерно для молотових штампів щодо невеликої маси, інструмента горизонтально-кувальних машин при одержанні заготовок невеликого діаметра. [17]

У результаті створення на гравюрі такого типу інструмента високотвердих покриттів, стійкість гарячештапкового інструмента суттєво збільшується. Застосування комплексного борування дозволяє підвищити стійкість кувальних штампів для виробництва деталей типу гайковий ключ, хрестовина, шатун, гвинт в 1,5-2, 5 рази. При цьому зменшується заліпаємость кувань на гравюрі штампа, що сприяє більш легкому їхньому зніманню, а отже, і підвищенню продуктивності праці. [17,19]

Застосування комплексного борування особливо ефективно для витяжних і гибочних штампів холодного деформування металів. Стійкість даних видів інструментального оснащення можна підвищити в 3-5 рази. При цьому можливо використання замість високолегованих сталей типу X12M и X12Ф низьколегованих і навіть вуглецевих інструментальних холодноштампових матеріалів. У результаті дифузійного зміцнення матриць і пуансонів штампів (сталь В8) різко змінюються характер і інтенсивність їх зношування. Поки

зберігається боридний шар, на поверхні заготовок, отриманих при витяжці, відсутні задири, ризики. Зношування дифузійного шару протікає повільно, при цьому відзначається навіть поліпшення стану робочих поверхонь. У процесі зношування дифузійного шару шорсткість поверхні зростає, однак інструмент продовжує залишатися в робочому стані, а зносостійкість матеріалу на досить високому рівні за рахунок збереження боридних голок, рівномірно вкраплених у зміцнену поверхню. У цілому стійкість дифузійно-зміцнених штампів в 3-5 рази вище в порівнянні зі штампами, що пройшли лише термообробку [17].

Дифузійне зміцнення можна з успіхом застосовувати для підвищення стійкості деяких типів вирубного інструмента. При виготовленні дифузійно-зміцнених матриць і пуансонів вирубних штампів необхідно враховувати зміни їх розмірів внаслідок зміцнюючої обробки. У зв'язку із цим доцільно зміцнення штампів із простою конфігурацією робочого контуру. Для даних штампів можна легко підібрати оптимальні зміни розмірів щодо наведених на кресленні, для того щоб після остаточної зміцнюючої обробки зазори в зоні вирубки відповідали необхідним вимогам. При цьому пуансони повинні бути виготовлені з деяким заниженням розмірів, а робоче вікно матриці - із завищенням. [17,18,19]

2.5 Постановка завдання

Об'єктами для зміцнення є деталі інструмента й технологічного оснащення, що виготовляються з дорогих легованих сталей: швидкорізальний інструмент (фрези, мітчики, Довб'яки), оснащення, що деформує (деталі штампів для холодної й гарячої обробки матеріалів тиском, волоки (фільтери) (рис.2.3).



Рисунок 2.3 - Волоки (фільтери)

Метою роботи є дослідження впливу нових методів хіміко-термічної обробки, що сполучаються із загартуванням або відпусткою, без використання спецобладнання, на ефективність експлуатації інструмента у виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1. На підставі аналізу причин виходу з ладу різних видів інструмента визначити номенклатуру, яку доцільно піддавати ХТО (хіміко-термічній обробці).
2. Установити вплив технологічних параметрів хіміко-термічної обробки стали на мікроструктуру, фазову сполуку й властивості поверхневих шарів інструментальної сталі;
3. Досліджувати вплив зміцненого поверхневого шару інструмента на збільшення стійкості різних видів інструмента;
4. Розрахувати економічну ефективність у результаті використання сучасних методів хіміко-термічної обробки стосовно до різних видів інструмента, що мають підвищену стійкість після ХТО.

3. ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Обґрунтування вибору досліджуваних матеріалів

При здійсненні ХТО з використанням порошкових сумішей як досліджуваних зразків були використані сталі 7X3, 5X3B3MΦC, P6M5 і німецька порошкова сталь S390 (P10M2Φ5X5K8) застосовувані при виготовленні деформуючого оснащення й металорізального інструмента.

Застосовувані методи насичення дозволяють одержати на даних сталях дифузійні шари з високим комплексом заданих властивостей, що дозволяє виготовляти інструмент працюючий в умовах зношування при динамічних впливах.

У випадку боросіліціювання насичення проводили при температурах 900-1000 °C протягом 1-5 годин. Процес борокарбоазотування при 500- 550 °C протягом 0,5-8 годин. Ці режими дозволяють проаналізувати закономірності формування шарів із заданою структурою й властивостями при необхідних показниках товщини дифузійного покриття.

3.2 Використання вискоєфективних сумішей при ХТО інструмента

Упакування зразків у контейнер із сумішшю проводиться в такий спосіб. Насипається й ущільнюється шар суміші товщиною 20-30мм. На суміш укладаються оброблювані зразки таким чином, щоб відстань від зразків до стінок контейнера й між зразками було не менш 15мм. Зразки засипаються шаром суміші, суміш ущільнюється й укладається другий ряд зразків. Відстань між зразками повинне бути не менш 20мм. Останній ряд зразків засипається шаром сумішей товщиною 30 мм (рис.2.1) і покривається шаром чавунної стружки.

C	0,65 - 0,75
Si	0,15 - 0,35
Mn	0,15 - 0,4
Ni	до 0,35
S	до 0,03
P	до 0,03
Cr	3,2 - 3,8
Mo	до 0,2
W	до 0,2
V	до 0,15
Ti	до 0,03
Cu	до 0,3
Fe	~93



Рисунок 3.2 - Хімічний склад у % стали 7X3

C	0,45 - 0,52
Si	0,5 - 0,8
Mn	0,2 - 0,5
Ni	до 0,35
S	до 0,03
P	до 0,03
Cr	2,5 - 3,2
Mo	0,8 - 1,1
W	3 - 3,6
V	1,5 - 1,8
Nb	0,05 - 0,15
Cu	до 0,3
Fe	~88



Рисунок 3.3 - Хімічний склад у % стали 5X3B3MFC

Мікроаналізу зазнають мікрошліфи, приготовлені в такий спосіб. Зразки закріплюються в спеціальних затисках (струбцини). Поверхня зразка роблять плоскою й шліфують вручну, або на верстатах спеціальними наждаковими шкурками. При цьому дотримується послідовність і плавність переходу від грубозернистих до дрібнозернистих шкурок. Потім для видалення дрібних рисок зразки поліруються.

На полірувальному верстаті, диск якого обтягнуть фетром, ведеться механічне полірування. На тканину наноситься паста ДОІ. Коли поверхня здобуває дзеркальний блиск, полірування припиняється. На відполірованому

мікрошліфі при спостереженні під мікроскопом повинні бути відсутнім ризики, подряпини, вириви.

Потім мікрошліфи промиваються водою й просушуються фільтрувальним папером.

Після цього шліфи зазнають травленню, яке проводять зануренням шліфа у відповідний реактив. Для виявлення дифузійного шару травлення мікрошліфів проводиться 5 % розчином азотної кислоти в етиловому спирті. Потім шліфи промиваються водою, сушаться фільтрувальним папером. Після цього мікрошліфи вивчаються за допомогою металографічного мікроскопа.

Товщина й структура дифузійних шарів досліджувалися на мікроскопах МІМ – 7, МКІ- 2М-1 (рис. 3.4).

Для оцінки фізико-механічних властивостей покриттів використовували метод виміру твердості.

Мікротвердість зміцненого поверхневого шару вимірялася на приладі ПТМ -3 (рис. 3.5).



Рисунок 3.4 – Мікроскоп МІМ-7



Рисунок 3.5 - Прилад для випробування мікротвердості ПМТ-3

Алмазна піраміда вдавлюється на певне місце, знайдене на шліфі при збільшенні, під навантаженням 0,98 Н і потім вимірюється діагональ відбитка,

по величині якої судять про твердість [21].

За допомогою рентгеноструктурного аналізу визначали фазову сполуку. Для розв'язку цього завдання використовували рентгенівський дефрактометр ДРОН-3 (рис. 3.6) з монохроматизованим $\text{CoK}\alpha$ випромінюванням ($\lambda_{\text{ср}} = 1,78897$ Е). Для мінімізації впливу текстури й розміру зерна досліджуваний об'єкт установлювався в приставці ГПКМ (2 гоніометра). Зйомка зразків здійснювалася при прискорювальній напрузі на рентгенівській трубці 30 кВ і анодному струмі 10 мА. Запис інтенсивності неухважного рентгенівського випромінювання проводився в режимі сканування (по крапках) з фіксованим часом рахунку 15 з на крапку. Крок сканування становить $0,1^\circ$. Для фазового аналізу використовувалася стандартна картотека PDF.



Рисунок 3.6 - Рентгенівський дефрактометр ДРОН-3

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Дослідження впливу параметрів ХТО на закономірності формування дифузійних шарів інструментальних сталей і структуру

Типові структурні зміни залежно від параметрів ХТО, що суттєво позначаються на властивостях, чітко проявляються на прикладі сталей 7Х3, 5Х3В3МФС (рис. 4.1).

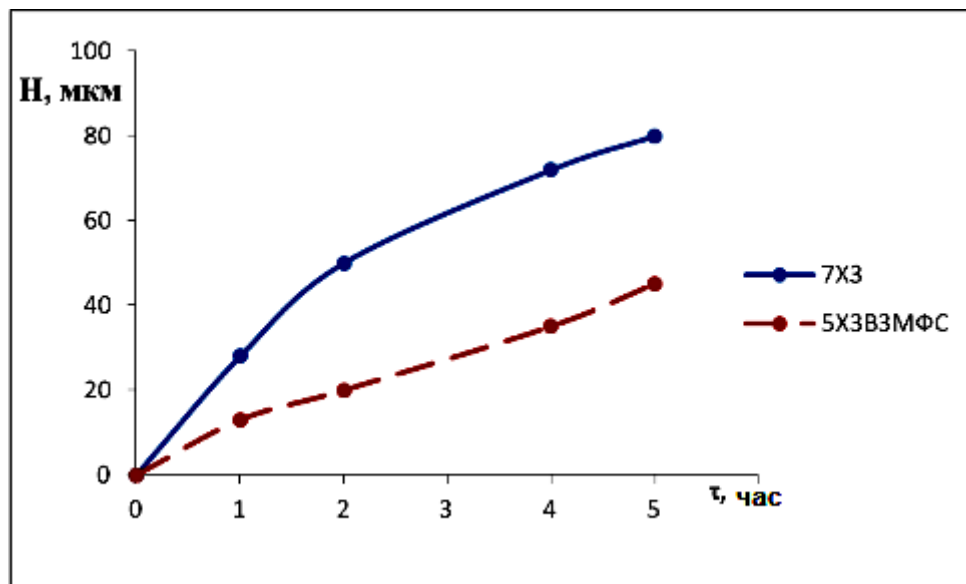


Рисунок 4.1 - Вплив часу боросиліціювання на товщину (Н) дифузійного шару на сталях 7Х3, 5Х3В3МФС при температурі ХТО 900°C

Досвіди проводилися при температурі насичення 900°C. Отримані залежності для представлених сталей мають вигляд, наближений до параболічного.

Боросиліціювання зразків (фільер) сталей 7Х3 при температурі 900°C приводить до формування дифузійних шарів, які по товщині помітно більше чому на зразках зі сталі 5Х3В3МФС.

По мікроструктурі боросиліційовані шари, отримані при 900°C мають голчаста будова й між ними проглядається невелика частка включень інших фаз (рис 4.2). На зразку зі сталі 7Х3 у структурі боросиліційованного шару рентгеноструктурним аналізом не виявлене фази Fe₂B.

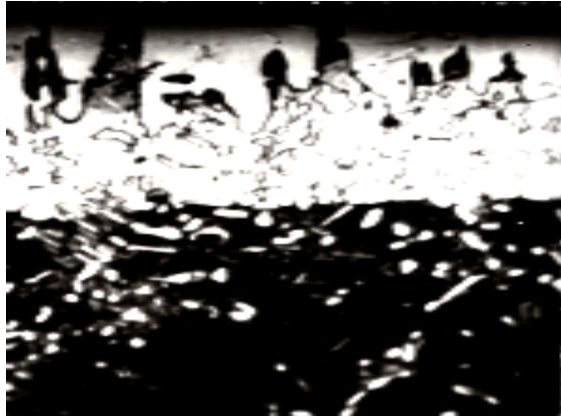


Рисунок 4.2. — Мікроструктури сталі 7Х3 після боросіліцювання, при температурі 1000°C, 4 години

У сталі 5Х3В3МФС формується перехідна зона з підвищеним вмістом карбідних включень, яка крім цього, додатково легується кремнієм.

Оцінюючи впливу температури насичення на товщину дифузійних шарів сталей 7Х3, 5Х3В3МФС обробку проводили при 900°C, 1000°C застосовуючи витримку 4(чотири) години. При збільшенні температури боросіліцювання відбувається зміна товщини дифузійного шару, як показано на рисунку 4.2 і 4.3

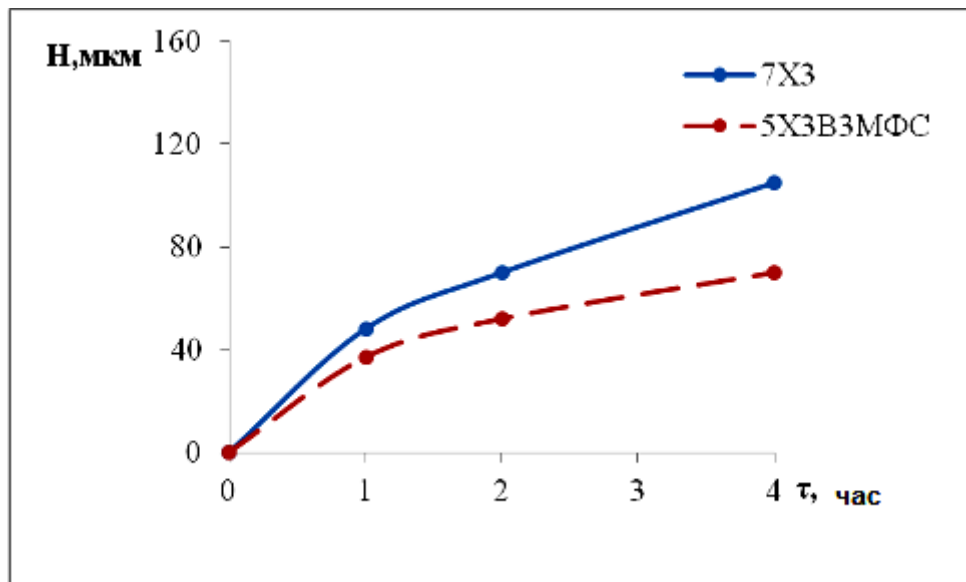


Рисунок 4.3 - Вплив часу боросіліцювання на товщину (H) дифузійного шару на сталі 7Х3 при температурі ХТО 1000°C

Результати досліджень показують, що на сталях 7Х3, 5Х3В3МФС товщина дифузійного шару зі збільшення температури з 900°C до 1000°C

різкого росту товщини боросіліцерованих шарів не спостерігається, що можна зв'язати зі зміною характеру дифузійного насичення двома елементами (бором і кремнієм). При збільшенні температури в поверхневий шар дифундує поряд з бором підвищена частка атомів кремнію, що приводить до появи в структурі дифузійного шару значної частки силіцидних фаз.

Однак температуру процесу все-таки не слід піднімати вище певної для кожної марки сталі (7Х3 - 900°C, 5Х3В3МФС - 1050°C), що б не відбулося оплавлення дифузійного шару.

Структурні зміни, що мають місце в результаті боросіліцювання при різних параметрах ХТО, суттєво позначаються на показниках мікротвердості дифузійних шарів. На мал.3.4 наведені результати досліджень мікротвердості зразків сталей 7Х3 після ХТО при температурі 900°C и 1000°C протягом 4-х годин.

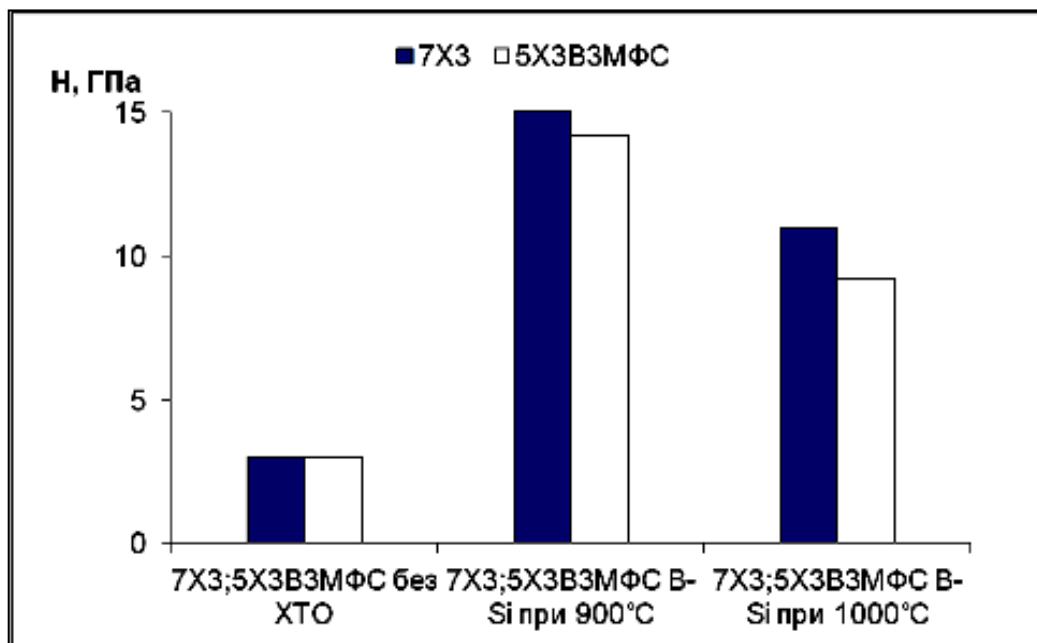


Рисунок 4.4 - Вплив ХТО на мікротвердість поверхневих шарів, отриманих при $T=1000^{\circ}\text{C}$, $T = 900^{\circ}\text{C}$, $t = 4$ години

Найбільш високі показники мікротвердості мають місце у випадку боросіліцювання при температурі 900°C і відповідають мікротвердості фази Fe_2B , і перебуває на рівні 13 – 14 ГПа

Підвищення температури боросіліцювання до 1000°C приводить до

появи в структурі дифузійного шару значної частки силіцидних фаз, за даними рентгеноструктурного аналізу поряд з Fe_2B є присутнім α' -фаза (твердий розчин на базі сполуки Fe_3Si), мікротвердість якої помітно нижче, чим у фази Fe_2B . Середня мікротвердість поверхні після боросіліціювання при 1000°C перебуває на рівні 10-11 ГПа, що помітно нижче, чим у випадку боросіліціювання при температурі 900°C (13-14 ГПа), але значно вище, чим твердість поверхні без ХТО - усього 2-2,5 ГПа.

Зміна структурної сполуки боросіліцйованного шару помітно позначається на мікрокрихкості. Визначення мікрокрихкості дифузійного шару проводилося з використанням приладу ПМТ-3. Мікрокрихкість оцінювалася по напрузі відколу «G» дифузійно зміцненої поверхні (чим нижче напруга відколу, тем вище крихкість), яке залежить від L (минималное відстань від центру відбитка алмазної піраміди до краю зразка при навантаженні P) [22]:

$$G = 0,17P/(2L^2 + LC), \quad (1)$$

де C – довжина діагоналі відбитка алмазної піраміди,

L – мінімальна відстань від центру відбитка алмазної піраміди до краю зразка,

P – навантаження.

У результаті боросіліціювання при температурі 900°C (3 мікротвердість перебуває на рівні 13-14 ГПа (що характерно фазі Fe_2B), напруга відколу нижче в 2 рази (рис. 3.5), у порівнянні з боросіліцйованим шаром отриманими при температурі 1000°C (мікротвердість 10-11 ГПа). Це свідчить про значне підвищення опору тендітному руйнуванню дифузійно зміцнених поверхонь деталей при їхній роботі в умовах динамічних впливів у процесі тертя.

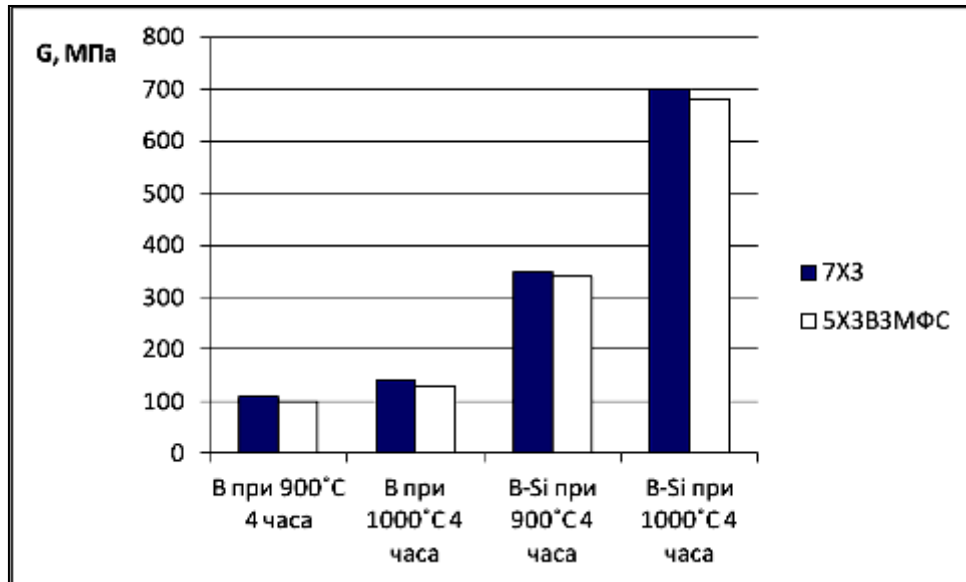


Рисунок 4.5 - Вплив ХТО на мікротвердість поверхневих шарів, отриманих при температурі 900 °C і 1000 °C за 4 години

Змінюючи параметри ХТО можна одержувати одмінні за структурою дифузійні шари з різним співвідношенням фаз Fe_2B , Fe_3Si , що в значній мірі впливає на опір тендітному руйнуванню поверхневих шарів деталей, що експлуатуються при періодичних або постійних ударних впливах.

При експлуатації в заводських умовах деталей, зміцнених високо твердими боридними фазами, було встановлено, що найбільш ефективна товщина боросилицированих шарів 70-100 мкм. Дослідження показали, що при температурі ХТО 900 - 920°C боросиліційовані шари зазначеної товщини формуються за 4 - 6 годин.

У результаті боросиліціювання суттєво підвищуються показники твердості й зносостійкості поверхневих шарів сталевих деталей. Використання високотемпературних методів ХТО вимагає для підвищення властивостей серцевини виробів наступного їхнього загартування, що викликає зміни розмірів і приводить до необхідності остаточної механічної обробки робочих поверхонь. Це частково або повністю усуває ефект від, що формуються при ХТО зносостійких дифузійних покриттів і крім того утрудняє, а іноді робить і неможливої механічне доведення.

4.2 Дослідження впливу низькотемпературної хіміко-термічної обробки на структуру й властивості сталей, застосовуваних для виготовлення металорізального інструмента й деформуючого інструментального оснащення

На підставі перерахованих вище недоліків високотемпературного процесу ХТО слід віддати перевагу низькотемпературним процесам ХТО, проведеним при температурах не перевищуючих температуру відпустки, загальноприйняту для більшості деталей з високолегованих інструментальних. У цьому випадку низькотемпературній хіміко-термічній обробці зазнають виготовлені в остаточний розмір деталі, включаючи шліфування й навіть полірування. У результаті такий ХТО розміри й чистота поверхні практично не змінюються, а твердість і зносостійкість суттєво зростають. Тому що температура ХТО не перевищує температури відпустки, зберігаються структура й властивості серцевини виробу.

Відомі процеси низькотемпературної ХТО (газові азотування й нітроцементация, карбонітрація) вимагають використання спеціального устаткування, окремих площ і приміщень, кваліфікованого обслуговуючого персоналу. устаткування, що випускається для цих процесів, призначене для ХТО порівняно більших партій (більш тисячі штук) малогабаритних деталей. Зміцнювати невеликі партії деталей (десятки, сотні штук), є недоцільним, тому що це пов'язане з більшою перевитратою енерговитрат, що й насичують матеріалів при недозавантаженнях устаткування.

У справжній роботі досліджені можливості застосування в порошкових сумішах технологічних процесів низькотемпературного багатокомпонентного дифузійного зміцнення бором, азотом, вуглецем (карбоазотування, борокарбоазотування), що дозволяють підвищити довговічність різних видів швидкозношуваного інструмента, що й не вимагають застосування спеціального устаткування.

Результати досліджень по впливу часу ХТО на товщину дифузійних шарів на сталях 3Х3В3МФС, Р6М5 і німецької швидкорізальної сталі S390

(P10M2Ф5Х5К8) представлено на рисунку 4.6 а,б. За товщину дифузійних шарів ухвалювали зону підвищеної мікротвердості, обмірюваної з використанням приладу ПМТ-3.

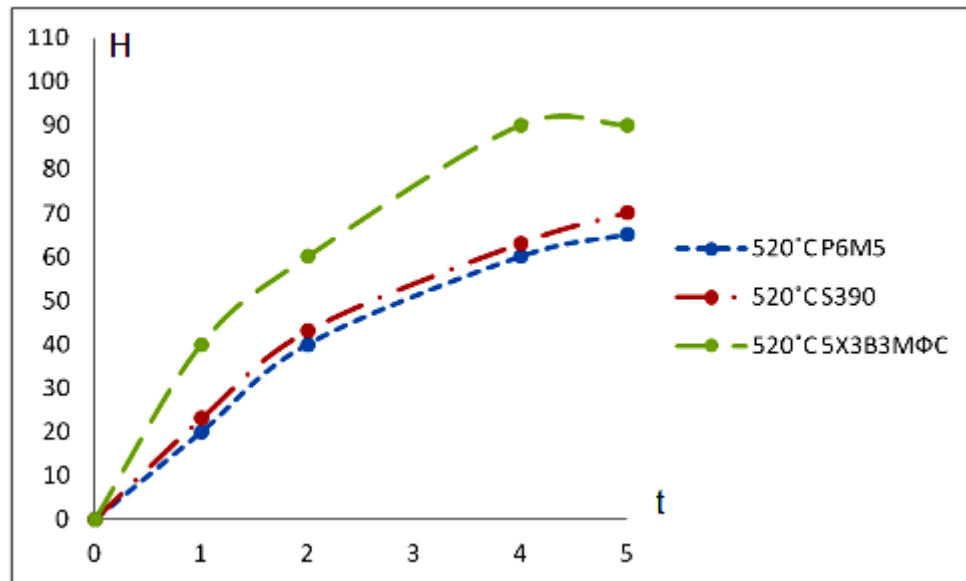


Рисунок 4.6 а - Вплив часу (t) борокарбозотування на товщину (H) дифузійних шарів на сталях 5Х3В3МФС, Р6М5 і S390 при температурах ХТО 520 °С

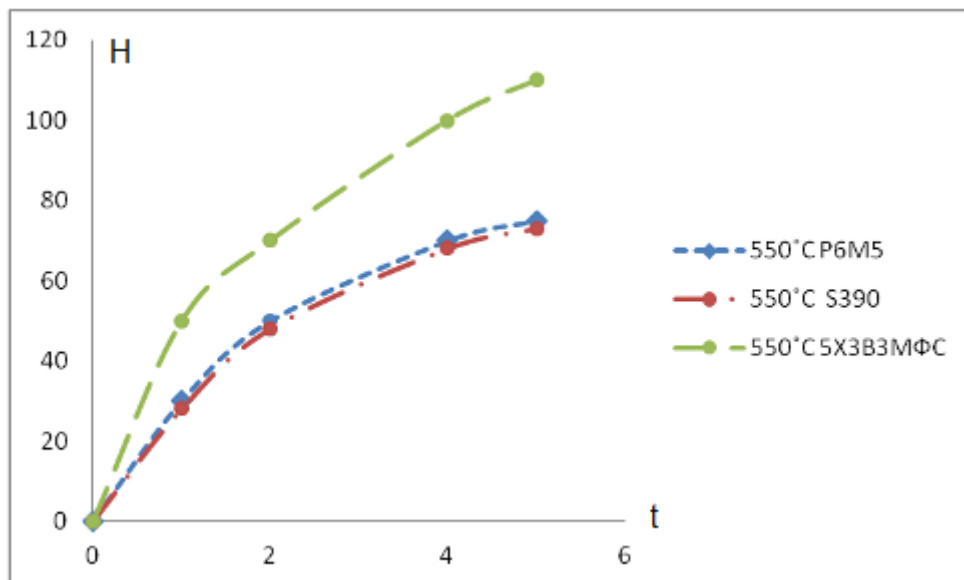


Рисунок 4.6 б - Вплив часу (t) борокарбозотування на товщину (H) дифузійних шарів на сталях 5Х3В3МФС, Р6М5 і S390 при температурах ХТО 550 °С

За отриманими результатами можна зробити висновок, що для інструмента працюючого в умовах тертя необхідне одержання дифузійних шарів максимально припустимої товщини. Через невисоку температуру

процесу ХТО (500-550°C), швидкість утвору дифузійного шару перебуває на низькому рівні.

У випадку різального інструменту (Довб'яки, мітчики, розгорнення, зенкери свердла, фрези, прошивання й ін.) типу, що виготовляється зі швидкорізальної сталі, Р6М5, S390, Р18 випробування показали, що оптимальна товщина дифузійного шару становить 30-50 мкм. Дифузійний шар такої товщини досягається при температурі 550°C і часу витримки 50 - 80 хвилин.

Фазовий аналіз поверхні зразка дозволяє виділити трохи складових (рисунок 4.7, 4.8).

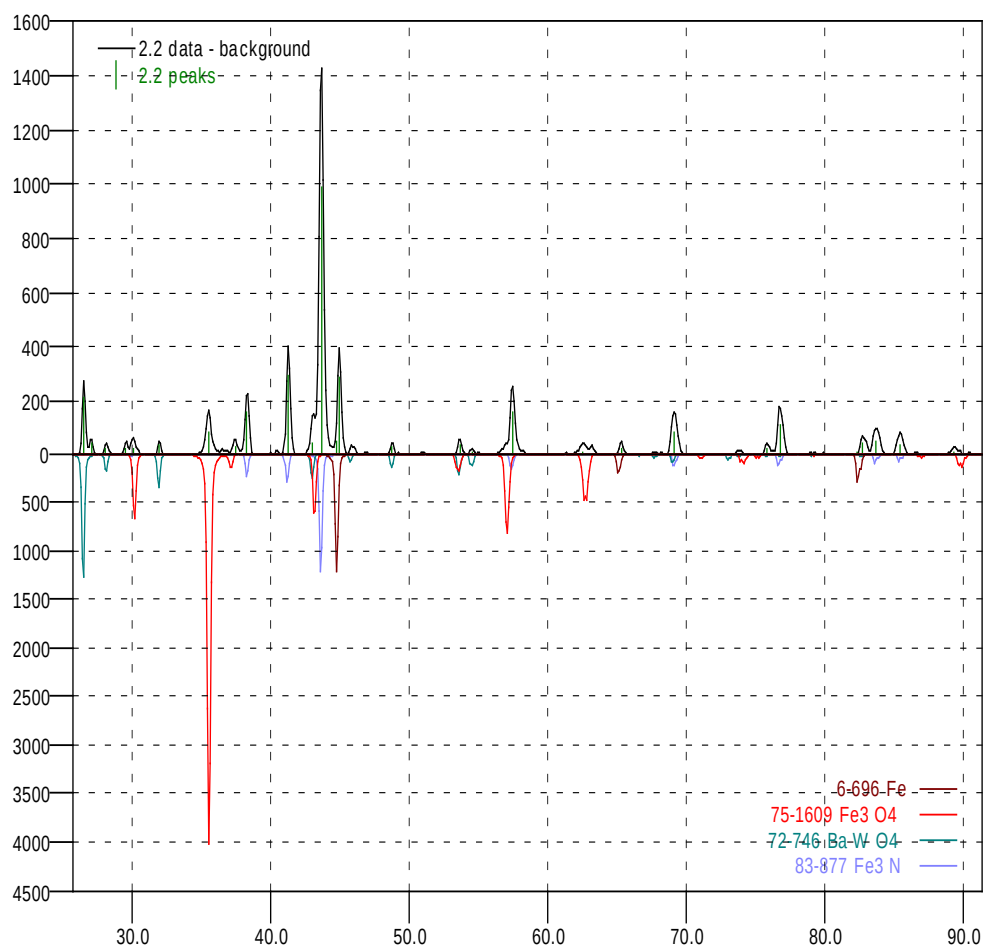


Рисунок 4.7 - Фазовий аналіз зразків Р10М2Ф5Х5К8 після ХТО при $T=550^{\circ}\text{C}$

Максимум в області 72-1110 ставиться до карбіду заліза Fe_3C , цей пік присутній у всіх досліджених зразках. У спектрах зразків виділяються ще піки, які також зв'язують із Fe_3N . На поверхні зразків можливі стискаючі напруги, що відповідає піку 6-696 Fe (рис 4.7).

Зйомка зразків проводилася на дифрактометрі рентгенівському ДРОН-3 в

CuK α - Випромінюванні. Параметри зйомки: інтервал 2θ $10^\circ - 120^\circ$, крок зйомки $0,1^\circ$, час експозиції 1 сек.

Також можлива присутність карбіду заліза.

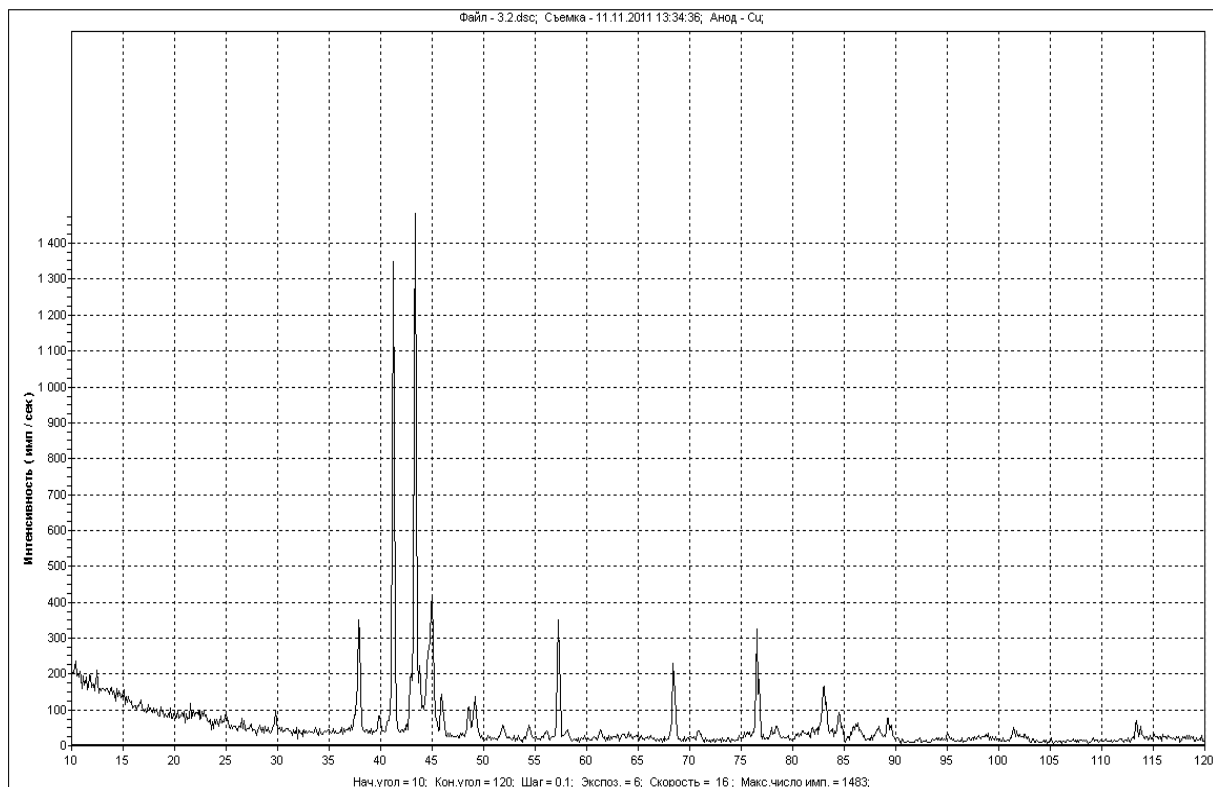


Рисунок 4.8 - Фазовий аналіз зразків зі сталі 5Х3В3МФС після ХТО при $T=550^\circ\text{C}$

У структурі борокарбонізованих шарів (рис 3.9) спостерігається поблизу поверхні досліджуваних сталей наявність світлої смужки ε -фази. Ця фаза сполуки $\text{Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C}, \text{V})$ з гексагональною решіткою. Під нею розташовується темнотравящаяся зона гетерогенної будови, у якій поряд зі структурними складовими основного матеріалу присутні включення борокарбонітридов заліза, концентрація яких плавно зменшується в міру видалення від поверхні, що викликає зменшення мікротвердості.

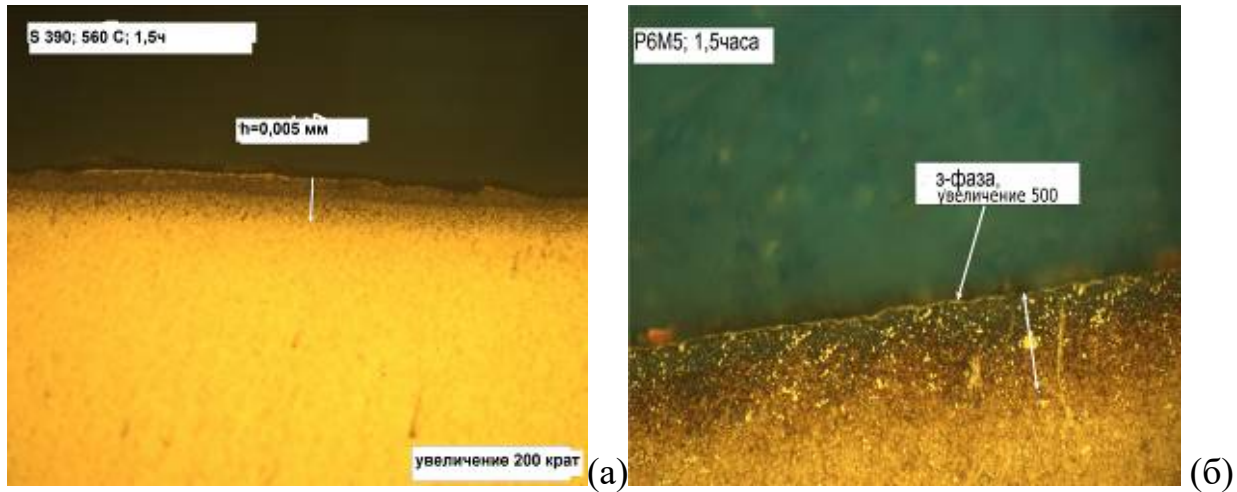


Рисунок 4.9 - Мікроструктура сталі S390 (P10M2Φ5X5K8 (а)) і P6M5(б) після борокарбо азотування при 550°C 1,5 години

Мікротвердість борокарбоазотированного шару, на відміну від боросіліційованного, плавно зменшується в міру видалення від поверхні до серцевини, що забезпечує міцне їхнє зчеплення з металевою основою й запобігає сколюванню навіть при відносно високих динамічних навантаженнях.

Результати досліджень мікротвердості зразків різних сталей представлені на рисунку 4.10 і в таблиці 4.1. Мікротвердість вимірялася на виготовлених мікрошліфах за допомогою приладу ПМТ-3 шляхом вдавнення в досліджувану поверхню алмазної піраміди при навантаженні 0,49 Н.

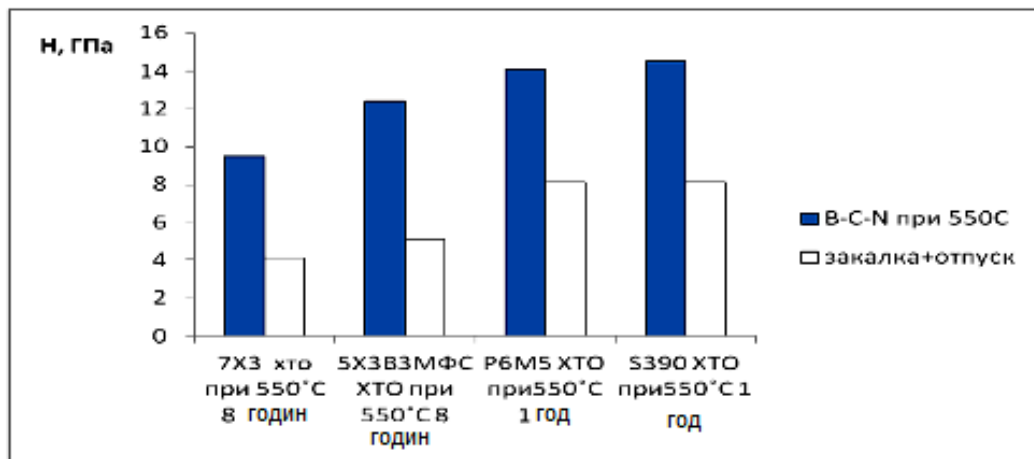


Рисунок 4.10 — Вплив ХТО на мікротвердість поверхневих шарів різних сталей, отриманих при 550°C

Таблиця 4.1 — Твердість поверхневих шарів

Процес зміцнюючої обробки	Марка сталі	Твердість поверхневих шарів, ГПа
В-С-N, 5500С, 8 год.	7Х3	9,5
В-С-N, 5500С, 6 год.	5Х3В3МФС	12,4
В-С-N, 5500С, 1 год.	Р6М5	14,1
В-3-N, 5500С, 1 год.	S 390	14,5
Загарт. + відп. 550°C	7Х3	4,1
Загарт. + відп. 560°C	5Х3В3МФС	5,1
Загарт. + відп. 550°C	Р6М5	8,1
Загарт. + відп. 550°C	S 390	8,1

Установлене, що у випадку присутності в складі сталей таких легуючих елементів як хром, вольфрам, ванадій, титан і ін. поряд з борокарбонітридами заліза в структурі дифузійного шару з'являються й борокарбонітриди зазначених елементів. Їхня мікротвердість суттєво перевищує твердість борокарбонітридов заліза, що приводить до підвищення мікротвердості всього дифузійного шару. Причому, чим більше легуючих елементів у сталі, тем вище твердість.

4.3 Вплив ХТО на показники стійкості різального інструменту

У роботі досліджено два напрямки використання процесів ХТО - високотемпературне (боросиліціювання) і низькотемпературне (борокарбоазотування). Для кожного із цих напрямків визначені температурні параметри й одержувані після ХТО властивості поверхневих шарів зміцнюючих деталей. Процес боросиліціювання проводиться при температурах 900-1000°C и вимагає істотних енерговитрат. На сталях формується дифузійний шар підвищеної твердості (до 14ГПа), що сприяє росту зносостійкості, при певних параметрах випробувань, більш ніж в 6 раз. У виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря» використовують боросиліційовані фільери зі сталей 7Х3 для протягання металопрокату круглого перетину або шестигранника, на протяжливих верстатах. Їхня зносостійкість в 3 рази вище, чим у не підданих ХТО (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 — Зносостійкість фільтри зі сталі 7ХЗ

№п/п	Найменування інструмента	Стійкість без зміцнення, тН	Стійкість після зміцнення, тН
1	Фільтри 7990-5118	2,0	6,0

Як вказувалося в пункті 3.1 використання високотемпературного методу ХТО вимагає для підвищення властивостей серцевини виробів наступного їхнього загартування, що викликає зміна розмірів внутрішнього діаметра (еліпс до 0,1 мм). Дане відхилення усувається додатковою механічною обробкою, що частково або повністю усуває ефект від формуючого при ХТО зносостійкого покриття (товщина формуючого шару становить до 100 мкм).

У даній роботі розглядається можливість застосування низькотемпературного методу зміцнення (борокарбо азотування) на деталі-фільтрі, із заміною марки сталі 7ХЗ на високолеговану сталь 5ХЗВЗМФС, тому що потрібна твердість на більш високому рівні (вище 12 ГПа). Даний метод дозволив збільшувати стійкість деталі фільтри (табл.4.3) без зміни розмірів (внутрішнього діаметра).

Таблиця 4.3 — Стійкість фільтри зі сталі 5ХЗВЗМФС

№п/п	Найменування інструмента	Стійкість без зміцнення, тН	Стійкість після зміцнення, тН
1	Фільтри 7990-5113	2,0	6,0

Процес борокарбоазотування більш енергозберігаючий, тому що проводиться при температурі 450-600°C. У виробничих умовах дифузійному зміцненню зазнають готові, виготовлені в остаточний розмір вироби, що пройшли повний цикл загальноприйнятої термічної обробки (загартування, отпуск).

При зміцненні дрібногабаритних деталей з високолегованих сталей (фільтри для протягання металопрокату, пуансони, матриці, деталі металообробного інструмента й ін.) їх поміщають у будь-яку ємність, засинають дифузійно активної сумішшю й витримують у печі при 500-550°C 0, 5-2 години на залежності від виду деталей і марки сталі. Для інструмента зі швидкорізальних сталей, традиційною термічною обробкою якого є

загартування й наступне три відпустки при температурі 560°C, 3-й отпуск можливо сполучати з дифузійним зміцненням. Досить ефективно пропонуване низькотемпературне зміцнення й для раніше окисованого різального інструменту.

Випробування зубодовбального інструмента проводилися у виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря» на режимах різання зазначених у технологічному процесі на деталі 2522-2405050, представлених у таблиці 4.4

Таблиця 4.4 - Режими різання

Проходи		So мм/об	t, мм	Vм/хв	L, мм	n, дв.хід/хв	Te, хв
Чорновий i=3	1	0,18	5	11,25	76	74	378
	2		3				
	3		2,1				
Чистовий i=1		0,36	0,75	11,25	76	74	48

Період стійкості за ДСТ 9323-79 $T_e=240$ хв

На всіх етапах проведення іспитових робіт дотримується умова зняття інструмента з верстата після виготовлення однієї деталі незалежно від величини посадки. Виміру посадки проводяться за допомогою лупи МПБ (Бринеля) з точністю 0,05 мм.

Довб'як: m (модуль) = 5мм; z (число зубів) = 20

Матеріал деталі: сталь 38Х2МЮА ДЕРЖСТАНДАРТ4543-71, твердість 269-321НВ

Верстат: зубодовбальний мод. 5А140П (рис 4.11).



Рисунок 4.11 - Верстат: зубодовбальний мод. 5A140П

Охолодження: масло індустріальне

Довб'як № 1 при збільшенні швидкості на 24% і кругової подачі на 10% деталь не виготовлена (відкол на 1 зубі, на інших зношування 0,2 мм). При подальших випробуваннях даний інструмент працював на режимах різання встановлених технологічним процесом. До повного зношування інструмент виготовив 26 деталей, при цьому посадка не перевищувала 0,2 мм

Довб'як № 2 перші п'ять установок максимальне зношування становило 0,2-0,3 мм на крайці при вершині зуба довб'яка. При подальших установках інструмента зношування було рівномірним по всій бічній поверхні зуба довб'яка й становив 0,05-0,15мм. Після виготовлення довб'яком 22 деталей була збільшена швидкість різання на 28% (14,29 м/хв-95 дв.хід/хв), що дозволило скоротити час на виготовлення деталі шестірня відома на 30%. На цих режимах до повного зношування було виготовлено ще по 8 (вісім) деталей, максимальне зношування склало 0,1-0,2 мм.

Причина зменшення зношування — модифікація голівки зуба довб'яка ($R=0,5\text{мм}$), яка дозволяє повести зношування із крайки при вершині зуба.

Довб'як №4 після виготовлення першої деталі мав посадку 0,20 мм по задній поверхні, однак на чотирьох зубах по бічній поверхні виявлені ризики

шириною до 1,0 мм і довжиною до 4.0мм.

Виникнення даного виду зношування можна припустити через:

- присутності пріжогов по бічній поверхні, залишених після виготовлення інструмента і як наслідок утвор відколів з наступним затиранням;
- відсутності покриття на інструменті.

Крім довб'яка випробування проводилися також на інструменті типу мітчик, зенкер, фреза. Тому що основною причиною вибракування даного інструмента є стирання по задній і передній поверхні, застосування нових видів дифузійно активних сумішей дозволило підвищити строк експлуатації інструмента.

Карбороазотована поверхня інструмента, що володіє зниженим коефіцієнтом тертя, забезпечує більш легкий відвід стружки, а також запобігає її налипанню на ріжучі краї й утвор лунок зношування, що дає можливість побільшати подачу й швидкість різання (рис. 4.12).

На підставі даних, отриманих у ході виробничих випробувань, впливає що в результаті зміцнення дифузійно активними сумішами поліпшуються ріжучі властивості інструмента, підвищується стійкість в 1, 5-3 рази й продуктивність, що приводить до підвищення економічної ефективності.

Порівняльний розрахунки економічної ефективності застосування різних типів довб'яків представлено в таблиці 4.5

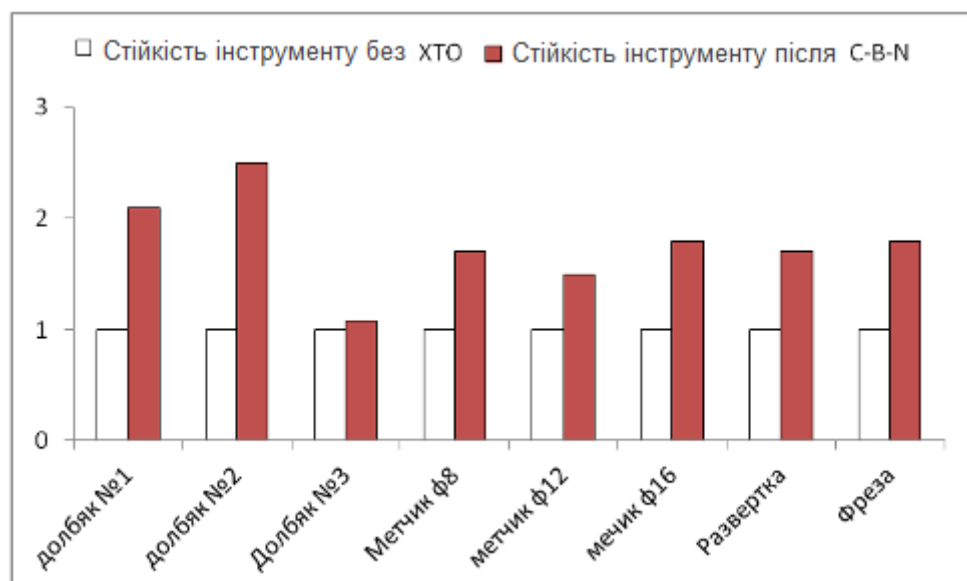


Рисунок 4.12 - Діаграма стійкості ріжучого інструменту

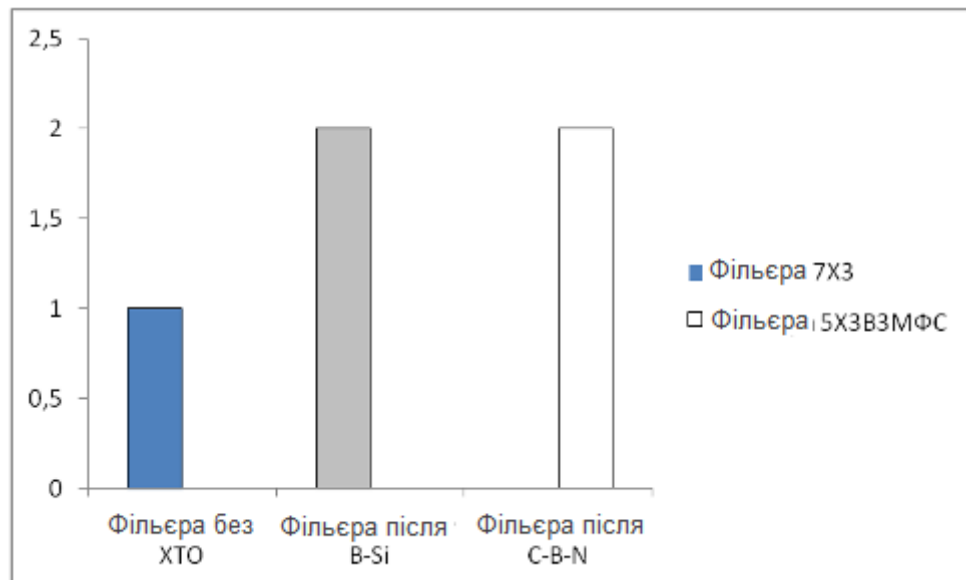


Рисунок 4.13- Діаграма стійкості ріжучого і фільєр

Таблиця 4.5 - Розрахунки економічної ефективності довб'яків

№ пп	Найменування показника	Довб'як 1	Довб'як 2	Довб'як 3	Довб'як 4
1	Річна програма, шт	2000			
2	Матеріал ріжучої частини/вид зміцнення	S 390 + ХТО	S 390 + Tin	P6M5+ ХТО	P6M5
3	Витрати на інструмент, грн	39774615,38	142335866,67	6624666,67	58745000,0

РОЗДІЛ 5

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРОВЕДЕННЯ СЕМІНАРУ НА ТЕМУ «ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТУ ЗА РАХУНОК ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ» ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ПРОФЕСІЙНА ОСВІТА. МАШИНОБУДУВАННЯ».

Процес різання – складний фізичний процес, що супроводжується значним тепловиділенням, деформаціями, спрацюванням різального інструменту і наростуутворенням на різці.

В процесі різання передня і задня частини леза різального інструменту підлягають значним перемінним навантаженням і знаходиться в стані рухомого контакту з оброблюваним матеріалом. При цьому передня поверхня інструменту взаємодіє з прирізцевою поверхнею стружки, а задня поверхня – з поверхнею різання. Чим вища міцність і твердість оброблюваного матеріалу, тим більший тиск на контактних ділянках леза.

Під стійкістю ріжучого інструменту розуміють відрізок часу, протягом якого заточений ріжучий інструмент працює до затуплення. Підвищення стійкості має важливе значення для ефективності оброблюваності матеріалу та вибору ріжучого матеріалу і дозволяють визначити орієнтовні швидкості різання для виробничих умов. Стійкість різних ріжучих матеріалів при обробці певного матеріалу і інших рівних умовах різання характеризує придатність цих ріжучих матеріалів для даного процесу різання. З іншого боку, стійкість певного інструменту при обробці різних матеріалів при інших рівних умовах різання характеризує оброблюваність цих матеріалів.

Все це зумовлює необхідність знаходження шляхів підвищення стійкості інструменту. З цими завданнями можуть впоратися висококваліфіковані фахівці.

Таких спеціалістів готує Українська інженерно-педагогічна академія за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування».

Далі визначимо стратегічні цілі підготовки фахівця. Прийнято розуміти під стратегічною ціллю - перелік тих необхідних професійних умінь, навичок та професійних якостей, котрі необхідно сформувати в процесі навчання. Викладач, маючи дані документи, проводить аналіз професійної діяльності тих спеціалістів, котрих він збирається підготувати, виділяє типові задачі цієї діяльності і ті якості, котрі він збирається сформувати у студентів певної галузі. Цими діями і визначається стратегічна ціль навчання. Відносно заданої теми необхідно сформувати у майбутніх інженерів-педагогів професійні уміння та навички щодо удосконалення технологічного обладнання, а також стати кваліфікованим спеціалістом у галузі машинобудування, одержати знання, уміння та навички для того щоб надалі бути затребуваним на ринку труда та праці.

Дисципліна, з якої буде розроблятися семінар: «Теорія різання та інструмент», тема: «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки».

Дидактичні цілі даної дисципліни: при вивченні даної дисципліни здебільшого слід звертати увагу на формування дидактичних та розвивальних цілей, так як вони є основною ланкою для даної спеціальності та на їх основі формується професійна компетентність спеціалістів. Для вивчення даної дисципліни можна виділити такі основні дидактичні цілі: уміти користуватися нормативно-технічною документацією, яка стосується верстатного обладнання, уміти порівнювати і аналізувати форми організації виробництва, знати типи і методи організації виробництва, уміти прогнозувати об'єм виробництва в залежності від виробничої потужності виробничого обладнання.

5.1. Постановка оперативних цілей семінару.

Оперативні цілі - це проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання.

В процесі підготовки студентів за спеціальністю «Професійна освіта. Машинобудування», студенти проходили багато різних дисциплін за різними напрямками, одна з яких «Теорія різання та інструмент».

Рівень сформованості обираємо найвищий, тому що тип заняття передбачає творчий підхід студентів до вирішення навчальних завдань.

Цілі семінару зазначені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Цілі семінару з теми «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки»

Дидактич на мета семінару	Рівень цілі	Умови досягнення цілі	Результат у вигляді дій, які студенти повинні продемонструвати в результаті виконання семінару, та їх характеристика	Розвиваюча мета проведення семінару.
1	2	3	4	5
Сформува ти уміння у студентів визначати, характери зувати, аналізуват и шляхи підвищен ня стійкості інструмен ту за рахунок хіміко- термічної обробки	IV рівень	Сформован і знання про хіміко- термічну обробку, ріжучі інструмент и, стійкість інструмент у	Сформоване уміння у студентів визначати, характеризувати, аналізувати шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко- термічної обробки	Розвивати інтелект, уміння аналізувати, класифікувати, порівнювати, робити висновки, уміння самостійно конструювати нові алгоритми на основі аналізу й узагальнення послідовності виконуваних операцій і дій, що ведуть до результату. Розвивати логічне мислення, просторову уяву, увагу, пам'ять, розумову активність, інтуїцію, пізнавальну самостійність, пізнавальний інтерес, потребу в самоосвіті, ініціативу, творчість, обґрунтованість суджень. Розвивати вміння логічно аргументувати та розвивати тему.

5.2. Вибір типу семінару і форми його проведення

Ефективною формою організації навчання у вищій школі є семінарські заняття.

Семінар – це вид занять, який включає самостійне вивчення студентами програмного матеріалу і обговорення на заняттях результатів пізнавальної діяльності.

Семінари можуть бути різними як за вмістом, і з побудови, роботи. Зазвичай на семінарах обговорюються заздалегідь ці запитання. Студенти завчасно знайомляться з планом семінарського заняття література, рекомендованої до вивчення цієї теми, щоб матимуть можливість підготуватися до семінару.

Семінари бувають різних типів: семінар-бесіда, реферативний семінар (або семінар обговорення), семінар-рішення задач або проблем, між предметні семінари, семінар-конференція.

Враховуючи дидактичну та розвиваючу мету було обрано реферативний семінар, тому що вивчаються окремі питання теми та систематизація уявлень студентів, вибір типу семінару та форми його проведення наведено у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Вибір типу семінару та форми його проведення

Тема семінару	Дисципліна, з якої проводиться семінар	Тип семінару та обґрунтування його обрання	Форма проведення семінару та обґрунтування її обрання
1	2	3	4
Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки	«Теорія різання та інструмент»	Тип: Реферативний семінар. Такі семінари проводяться для поширення і систематизації уявлень студентів по окремим питанням навчального курсу, поповнення словарного запасу науковими термінами і закріплення їх	Форма проведення: Індивідуальна. Кожному студенту окремо видається тема доповіді (або вибір тем відбувається на розсуд студентів), всі студенти, які не готують доповіді готуються виступати в якості опонентів до доповідачів, готують питання з кожної теми.

5.3. Визначення переліку питань для обговорення та джерел інформації при підготовці до семінару

Перелік питань, які необхідно розглянути на семінарі та джерела інформації, які можна використати для підготовки доповідей наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Питання для обговорення

Питання для обговорення	Джерела інформації
1	2
Які висувуються вимоги, до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки?	1. Мацевитий В.М. Покриття для різальних інструментів. – Харків: Вища школа, 1987 – 128с. 2. Шишков В.Д Сучасні методи зміцнення ріжучого інструменту. – Л.: ЛДНТП, 1981. – 20 с. 3. Усачов П.П. Підвищення зносостійкості та міцності різальних інструментів. – К.: Техніка, 1981. – 158 с. 5. Белов А.Ф. Зносостійкі покриття для технологічного та ріжучого інструменту. / А.Ф. Белов, Е.М. Волин, І.С. Полькин. – Сб. «Перспективні методи отримання покриттів та модифікованих поверхонь», Київ, ІЕС ім. Патона, 1985. С. 9–10.
В чому полягає використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту?	1. Глазунов С.Г., Моїсєєв В.Н. Конструкційні титанові метали - М: Металургія, 1974, 367 с. 2. Внуков Ю.Н. Нанесення зносостійких покриттів на швидкокрізьний інструмент. - Київ: Техніка, 1992. – 143 с.
Яка технологія та результат використання покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃ як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту?	1. Верещака О.С. Ріжучі інструменти із зносостійкими покриттями / А.С. Верещака, Н.П. Третьяков. - М.: Машинобудування, 1986. - 192 с. 2. Верещака О.С. Працездатність інструменту із зносостійким покриттям / О.С. Верещака. - М.: Машинобудування, 1993. - 336 с. 3. Дослідження та застосування покриттів з карбіду ніобію на ріжучому інструменті / О.К. Мінкевич, Г.Д. Кузнецов, В.С. Серебріннікова та ін. - В. Кн.: Дифузійне насичення і покриття на металах. - К.: Наукова думка, 1977. - С. 128-130.
Як впливає дифузійні процеси на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки?	1. Клименко С.А. Точення зносостійких захисних покриттів / С.А Клименко, Ю.А.Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. – К.: Техника, 1997. – 146 с. 2. Шляхи підвищення ефективності механічної обробки високоміцних і композиційних матеріалів /В.Я.Лебедев // Вісн.Житомир.інж.-технол.ін-ту. техн.науки. –2003. –№2. –С.96. –105. 3. Остаф'єв В.А. Сучасні методи інтенсифікації процесу різання матеріалів / В.А. Остаф'єв, В.С. Антонюк. – К.: "Знання", 1988. – 28 с.

В чому полягає особливість багат шарового покриття як одного із способів поверхневого зміцнення та стійкості ріжучого інструмента?	1. Клименко С.А. Точення зносостійких захисних покриттів / С.А Клименко, Ю.А.Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. – К.: Техніка, 1997. – 146 с. 2. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]/А.М. Дальський - М.: Машинобудування, 2005. – 512 с.
Як і для чого необхідно вибирати температурно-часові параметри відпуску під час хіміко-термічної обробки різального інструменту?	1. Виноградов В.В. Технологія машинобудування: введення в спеціальність. Технологія машинобудування. [Текст] / Виноградов В.М.-М.: Видавничий центр «Академія», 2007 2. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. [Текст] / Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К. Г. – К.: Либідь, 2002. –328 с.
В чому полягають перспективні пропозиції щодо впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості?	1. Сонешкін І.П., Чижевський А.Б., Дмитрієв С.І. Техно-логічні процеси в машинобудуванні: Навч. посібник [Текст] / Сонешкін І.П., Чижевський А.Б., Дмитрієв С.І. За ред. Н.П. Сонечкін. СПб.: Вид-во СПбДТУ, 2001. - 344с. 2. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів [Текст]/А.М. Дальський - М.: Машинобудування, 2005. - 512 с. 3. Мітін Б.С. Порошкова металургія та напилені покриття: Навч. для втузів. - М.: Металургія, 1987. - 792 с. 5. Шишков В.Д. Сучасні методи зміцнення ріжучого інструменту. - Л.: ЛДНТП, 1981. - 20 с.

5.4. Проєктування мотиваційних технологій навчання студентів на семінарі.

Мотивація – це вид управлінської діяльності, який забезпечує процес спонукання особи до дієвості, спрямованої на досягнення особистих цілей чи цілей організації. Мотивація - це так звані психічні явища, що стали спонуканням до виконання тієї або іншої дії, учинку, що визначають активність особистості та її спрямованість на досягнення запланованого результату.

Зовнішня мотивація - заохочення, покарання та ін. види стимуляції поведінки.

Внутрішня мотивація - вона залежить від внутрішніх процесів, що відбуваються у свідомості особистості.

Текст мотивації представимо в табл.5.5.

Для проведення нашого заняття скористуємося внутрішнім типом мотивації на вступному етапі заняття, передбачаючи, що студенти, готуючись

до заняття вже зовнішньо змотивовані на отримання позитивної оцінки, а поточну будемо використовувати зовнішню.

Таблиця 5.4 - Обрання методів мотивації навчальної діяльності

Вид і методи мотивації	Мотивація
1	2
Внутрішня вступна мотивація Приєм мотивациї: - Віднесення до ситуації	У процесі різання на зняття стружки з заготовки витрачається певна робота щодо подолання пружних і пластичних деформацій, а також тертя по передній і задній поверхнях інструменту. Зношування ріжучого інструменту - це процес руйнування поверхневих шарів, що призводить до поступової зміни форми і стану поверхонь різання інструменту. Тому виникає необхідність постійного підвищення стійкості інструменту. Стійкістю інструменту називають час його роботи між переточками при певному режимі різання. На стійкість впливають: оброблюваний матеріал і матеріал різального інструменту, режим різання та інші умови обробки. Стійкість має великий вплив на продуктивність і вартість обробки; її вибирають такою, щоб вартість виконаної операції була мінімальною. Складні дорогі інструменти, встановлювані на верстатах зі складною наладкою, повинні мати більший період стійкості. Сьогодні ми за Вами розглянемо шляхи підвищення стійкості ріжучого інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки. Важливо і актуально вносити нові підходи до обробки деталей, щоб Ваша продукція була затребувана ринку продажу. Слухайте уважно та будьте активними!
Зовнішня поточна мотивація Приєм мотивациї: - Віднесення до особистості	Не забувайте, що сьогодні за роботу на семінарі всі отримають бали, але їх кількість буде залежати від того, як Ви працюєте. Тож не відволікайтесь і продовжуємо!

5.5. Аналіз базових умов навчання

Первинне усвідомлення студентами навчального матеріалу, в якій би формі він їм не подавався, повинно спиратись на уявлення, що є в їх пам'яті, на їх чуттєвий досвід або знання, якими вони оволоділи в процесі самостійних спостережень або при вивченні на попередніх заняттях по даній чи спорідненій дисциплінам. Однак при цьому досвіді можуть бути уявлення поверховими і невиразними, нечіткими, неточними і неправильними або перекоханими. Опорою для засвоєння знань є лише виразні, чіткі та правдиві уявлення. Тому

для успішного навчання важливе значення має формування у студентів конкретних образів, чітких, яскравих і правдивих уявлень про навколишній світ, багатого чуттєвого (сенсорного) досвіду (sensos- відчуття) , сенсорний досвід – чуттєвий досвід, що складається з різних уявлень пам'яті.

Актуалізація опорних понять здійснюється методом усної бесіди або за допомогою письмової роботи, короткого запису відповідей або заповнення таблиці. В нашому випадку, для актуалізації базових (опорних) знань використовуємо усне (фронтальне) опитування

В таблиці 5.5 наведемо аналіз базових умов навчання з теми семінару.

Таблиця 5.5 - Аналіз базового матеріалу і способи актуалізації базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дій	Назва дисциплін і тем, в яких формуються опорні знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
Хіміко-термічна обробка Ріжучі інструменти Властивості ріжучих інструментів Стійкість ріжучого інструменту	«Матеріалознавство та основи обробки матеріалів» «Теорія різання та інструмент»	Усне фронтальне опитування: 1. В чому полягає хіміко-термічна обробка? 2. Які інструменти називаються ріжучими? 3. Перелічить види ріжучих інструментів та охарактеризуйте їх особливість та призначення. 5. Визначте властивості ріжучих інструментів 5. Що таке стійкість ріжучого інструмента, як вона впливає на процес обробки заготовки?	Стисле нагадування основних положень базового матеріалу. акцентування уваги на незрозумілих моментах.

5.6. Проектування основної частини реферативного семінару

В таблиці 5.6 представимо перелік тем доповідей, визначимо мету та тривалість кожної доповіді та її обговорення.

Таблиця 5.6. - Характеристика доповідей на семінарі

№ доповіді	Тема доповіді	Мета доповіді	Тривалість доповіді	Тривалість обговорення доповіді
1	2	3	4	5
1	Вимоги, що висуваються до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	Ознайомити слухачів з вимогами, що висуваються до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	до 5 хв.	до 3 хв.
2	Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	Визначити та проаналізувати особливості використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	до 5 хв.	до 3 хв.
3	Використання покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃ як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	Описати особливості використання покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃ як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	до 5 хв.	до 3 хв.
4	Вплив дифузійних процесів на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	Визначити та проаналізувати вплив дифузійних процесів на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	до 5 хв.	до 3 хв.
5	Багатошарове покриття – сучасна тенденція розвитку поверхневого зміцнення та стійкості ріжучого	Охарактеризувати особливості застосування багатошарового покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки для підвищення стійкості	до 5 хв.	до 3 хв.

	інструмента			
6	Вибір температурно-часових параметрів відпуску під час хіміко-термічної обробки як один зі шляхів підвищення стійкості різального інструменту	Описати технологію вибору температурно-часових параметрів відпуску під час хіміко-термічної обробки та її вплив на підвищення стійкості різального інструменту	до 5 хв.	до 3 хв.
7	Перспективні пропозиції щодо впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості	Визначити та проаналізувати майбутні перспективні шляхи впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості	до 5 хв.	до 3 хв.

Далі необхідно зазначити перелік джерел інформації для доповідей, який представимо в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 - Джерела інформації для підготовки доповідей

Теми доповідей	Джерела інформації
1	2
Вимоги, що висуваються до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	1. Мацевитий В.М. Покриття для різальних інструментів. - Харків: Вища школа, 1987 - 128с. 2. Шишков В.Д Сучасні методи зміцнення ріжучого інструменту. - Л.: ЛДНТП, 1981. - 20 с. 3. Усачов П.П. Підвищення зносостійкості та міцності різальних інструментів. - К.: Техніка, 1981. - 158 с. 5. Белов А.Ф. Зносостійкі покриття для технологічного та різального інструменту. / О.Ф. Белов, Е.М. Волін, І.С. Полькін. - Сб. «Перспективні методи отримання покриттів та модифікованих поверхонь», Київ, ІЕС ім. Патона, 1985. З. 9–10.
Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	1. Глазунов С.Г., Мойсєєв В.М. Конструкційні титанові метали - М: Металургія, 1974, 367 с. 2. Внуков Ю.М. Нанесення зносостійких покриттів на швидкорізальний інструмент. - Київ: Техніка, 1992. - 143 с.

Продовження табл. 5.7

1	2
Використання покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃ як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту	1. Верещака О.С. Ріжучі інструменти із зносостійкими покриттями / А.С. Верещака, Н.П. Третьяков. - М.: Машинобудування, 1986. - 192 с. 2. Верещака О.С. Працездатність інструменту із зносостійким покриттям / О.С. Верещака. - М.: Машинобудування, 1993. - 336 с. 3. Дослідження та застосування покриттів з карбіду ніобію на ріжучому інструменті / О.К. Мінкевич, Г.Д. Кузнецов, В.С. Серебріннікова та ін. - В. Кн.: Дифузійне насичення та покриття на металах. - К.: Наукова думка, 1977. - С. 128-130.
Вплив дифузійних процесів на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки	1. Клименко С.А. Точення зносостійких захисних покриттів / С.А. Клименко, Ю.А.Муковоз, Л.Г. Полонський, П.П. Мельничук. - К.: Техніка, 1997. - 146 с. 2. Пути підвищення ефективності механічної обробки високоміцних і композиційних матеріалів / В.Я.Лебедєв // Вісн.Житомир.інж.-технол.ін-ту. техн. науки. -2003. -№2. -С.96. -105. 3. Остаф'єв В.А. Сучасні методи інтенсифікації процесу різання матеріалів / В.А. Остаф'єв, В.С. Антонюк. - К.: "Знання", 1988. - 28 с.
Багатошарове покриття – сучасна тенденція розвитку поверхневого зміцнення та стійкості ріжучого інструмента	1. Клименко С.А. Точення зносостійких захисних покриттів / С.А. Клименко, Ю.А.Муковоз, Л.Г. Полонський, П.П. Мельничук. - К.: Техніка, 1997. - 146 с. 2. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] / А.М. Дальський - М.: Машинобудування, 2005. - 512 с.
Вибір температурно-часових параметрів відпуску під час хіміко-термічній обробці як один зі шляхів підвищення стійкості різального інструменту	1. Виноградов В.В. Технологія машинобудування: введення в спеціальність. Технологія машинобудування. [Текст] / Виноградов В.М.-М.: Видавничий центр «Академія», 2007 2. Хільчевський В. Ст. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. [Текст] / Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К. р. - К.: Лібідь, 2002. -328 с.

Продовження табл. 5.7

1	2
Перспективні пропозиції щодо впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості	1. Сонешкін І.П., Чижевський А.Б., Дмитро С.І. Технологічні процеси в машинобудуванні: Навч. посібник [Текст] / Сонешкін І.П., Чижевський А.Б., Дмитрієв С.І. За ред. Н.П. Сонечкін. СПб.: Вид-во СПбДТУ, 2001. - 344с. 2. Дальський А.М. Технологія конструкційних матеріалів [Текст] / А.М. Дальський - М.: Машинобудування, 2005. - 512 с. 3. Мітін Б.С. Порошкова металургія та напилені покриття: Навч. для вузів. - М.: Металургія, 1987. - 792 с. 5. Шишков В.Д. Сучасні методи зміцнення ріжучого інструменту. - Л.: ЛДНТП, 1981. - 20 с.

Далі необхідно розробити змістовну характеристику кожної доповіді і методику її проведення, яка знаходиться в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 - Змістовна характеристика доповідей

Тема доповіді	Частини доповіді	Основні питання доповіді	Метод викладу змісту	Методика забезпечення наочності	Прийоми активізації слухачів
1	2	3	4	5	6
Доповідь №1 Тема «Вимоги, що висуваються до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки»	Вступна частина	Загальні відомості по хіміко-термічну обробку різальних інструментів	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Перелік та опис вимог, що висуваються до покриття різального інструменту під час хіміко-термічної обробки			
	Заключна частина	Висновки			
Доповідь №2 Тема: «Використання композиційного покриття (Ti-	Вступна частина	Характеристика властивостей покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N	Монологічний метод	Демонстрація	Виступ з проблемою

Продовження табл.5.8

1	2	3	4	5	6
Zr)-(Ti-Zr)N як одного із шляхів підвищення зносостійкості різально різального інструменту»	Основна частина	Визначення особливості використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N для підвищення зносостійкості різального інструменту		презентаційних слайдів	
	Заклучна частина	Висновки щодо проведеного аналізу			
Доповідь №3 Тема: «Використання покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃ як одного із шляхів підвищення зносостійкості різального інструменту»	Вступна частина	Характеристика властивостей покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Визначення, перелік та опис особливостей та впливу на зносостійкість різального інструменту нанесення покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-Al ₂ O ₃			
	Заклучна частина	Висновки			
Доповідь №4 Тема: «Вплив дифузійних процесів на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки»	Вступна частина	Загальні відомості про адгезійні зв'язки	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Визначення та характеристика впливу дифузійних процесів на формування міцного адгезійного зв'язку на поверхні різального інструменту під час хіміко-термічної обробки			
	Заклучна частина	Висновки			
Доповідь №5 Тема: «Багатошарове покриття – сучасна тенденція розвитку поверхневого зміцнення та стійкості ріжучого інструмента»	Вступна частина	Визначення та аналіз впливу застосування багатошарового покриття різальних інструментів під час хіміко-термічної обробки для підвищення стійкості	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Виступ з проблемою
	Основна частина				
	Заклучна частина	Висновки			

Продовження табл.5.8

1	2	3	4	5	6
Доповідь №6 Тема: «Вибір температурно-часових параметрів відпуску під час хіміко-термічної обробки як один зі шляхів підвищення стійкості різального інструменту»	Вступна частина	Загальні відомості про температурно-часові параметри хіміко-термічної обробки	Монологічний метод	Демонстрація ілюстрацій	Розповідь
	Основна частина	Опис технології вибору температурно-часових параметрів відпуску під час хіміко-термічної обробки			
	Заклучна частина	Висновки			
Доповідь №7 Тема: «Перспективні пропозиції щодо впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості»	Вступна частина	Визначення та аналіз майбутніх перспективних шляхи впровадження хіміко-термічної обробки різальних інструментів для підвищення стійкості	Монологічний метод	Демонстрація презентаційних слайдів	Виступ з проблемою
	Основна частина				
	Заклучна частина	Висновки щодо проведеного аналізу			

Визначимо критерії оцінювання студентів. Представимо їх в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Оцінка участі студентів в семінарі та доповідей

Критерії оцінки участі в семінарі	Кількість балів
1	2
Виступ з докладом	0-2
Опанування	0-2
Виступ в обговоренні доповіді	0-2
Культура мови	0-2
Повнота висвітлення теми доповіді	0-2
Логічність викладу	0-2
Наочність викладу	0-2
Володіння аудиторією	0-2

Загальна кількість балів за заняття перераховується за коефіцієнтом вкладу в вивчення дисципліни із розрахунку максимуму за курс – 100 балів.

Сценарій проведення реферативного семінару на тему: «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки» наведено в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10. - Сценарій проведення реферативного семінару

Етап проведення семінару	Дії викладача	Дії студентів
1	2	3
Організація початку заняття	Вступне слово викладача, перевірка готовності студентів до заняття	Студенти готуються до заняття, слухають уважно викладача
Повідомлення теми, цілі, увідна мотивація навчальної діяльності	Тема нашого сьогоднішнього заняття: «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки», мета заняття: сформулювати вміння у студентів визначати, характеризувати, аналізувати шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки, розвивати логічне мислення, просторову уяву, увагу, пам'ять, розумову активність, інтуїцію, пізнавальну самостійність, пізнавальний інтерес, потребу в самоосвіті, ініціативу, творчість, обґрунтованість суджень. Повідомляє важливість вивчення теми.	Студенти записують тему заняття, сприймають мету заняття, усвідомлюють важливість і актуальність теми.
Аналіз сформованості та актуалізація опорних знань	Проведення усного фронтального опитування: 1. В чому полягає хіміко-термічна обробка? 2. Які інструменти називаються ріжучими? 3. Перелічить види ріжучих інструментів та охарактеризуйте їх особливості та призначення. 5. Визначте властивості ріжучих інструментів 5. Що таке стійкість ріжучого інструмента, як вона впливає на процес обробки заготовки? Стисле нагадування основних положень базового матеріалу.	Студенти слухають викладача, відповідають на питання. Слухають стисле нагадування та корегування відповідей викладачем
Повідомлення про тематику докладів і організацію опанування та обговорення	На сьогоднішньому занятті, ми з вами заслухаємо 7 доповідей, після кожного виступу буде можливість обговорити основні положення доповіді та прийти до певних висновків. Не забуваємо, що всі приймають активну участь в обговоренні виступів у Вас є можливість отримати додаткові бали за опанування виступів своїх товаришів.	Студенти слухають викладача. Студенти з доповідями готуються до виступу.

Заслуховування та обговорення доповідей.	Заслуховування доповідей студентів на обрані теми. Після кожної доповіді у студентів є 3 хв. для того, щоб обговорити виступ, задати питання, які виникали під час доповіді. Обговорення.	Слухають уважно доповідачів, конспектують основні положення. Обговорюють доповідь, задають питання. Висловлюють свої думки
Оцінка доповідей та участі студентів в їх обговоренні.	Ми прослухали всі доповіді, які були на сьогодні підготовлені. Всі дуже гарно підготувалися та виступили, та отримують добрі оцінки, студенти які приймали участь в обговоренні також отримують додаткові бали.	Слухають уважно викладача
Підведення підсумків семінару.	На сьогоднішньому занятті ми з вами добре попрацювали, дізнались про шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки. Сподіваюсь, заняття для Вас пройшло цікаво та невимушено.	Слухають викладача

5.7 Висновки до розділу 5

В методичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки» з дисципліни: «Теорія різання та інструмент» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі результатів, отриманих у ході досліджень, можна зробити висновок, що використання нових дифузионно активних видів сумішей для підвищення стійкості різального інструменту й штампового оснащення дозволило збільшати строк його експлуатації в 1,5 - 3 рази, у виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря».

2. Досліджена закономірність впливу температурно-тимчасових параметрів процесів на розмір зміцнених шарів. Так для одержання шару товщиною 70-100 мкм, при боросіліцюванні, можливо при температурі 900-920°C і часу витримки 4-6 годин. Підвищення температури процесу до 1000°C не дає значного росту товщини шару, тому що приводить до появи в структурі дифузійного шару значної частки силіцидних фаз. За даними рентгеноструктурного аналізу поряд з Fe_2B є присутнім α' -фаза (твердий розчин на базі сполуки Fe_3Si), мікротвердість якої помітно нижче, чим у фази Fe_2B . Середня мікротвердість поверхні після боросіліцювання при 1000 °C перебуває на рівні 10-11 ГПа, що помітно нижче, чим при температурі 900 °C (13-14 ГПа), але значно вище, чим твердість поверхні без ХТО - усього 2-2,5 ГПа.

3. Процес борокарбозотирования більш енергозберігаючий, тому що проводиться при температурах 450-600°C.

Зносостійкість борокарбозотированного шару також визначається глибиною, фазовою сполукою й твердістю зміцненого шару.

Для різального інструменту (долбьки, мітчики, розгорнення, зенкери свердла, фрези, прошивання й ін.) типу, що виготовляється зі швидкорізальних сталей, Р6М5, Р18, Р10М2Ф5Х5К8 (S390), як показують випробування, оптимальна товщина дифузійного шару 30-50 мкм. При температурі ХТО 550°C одержати дифузійні шари такої товщини можна за 50 - 80 хвилин.

4. Мікротвердість карбозотированных і борокарбозотированных шарів, на відміну від боросиліцированных, плавно зменшується в міру видалення від поверхні до серцевини, що забезпечує міцне їхнє зчеплення з

металевою основою й запобігає сколюванню навіть при відносно високих динамічних навантаженнях.

5. В методичному розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено методичні вказівки до проведення семінару на тему «Шляхи підвищення стійкості інструменту за рахунок хіміко-термічної обробки» з дисципліни: «Теорія різання та інструмент» для студентів спеціальності «Професійна освіта. Машинобудування», були сформульовані оперативні цілі семінару, обраний тип та форма проведення семінару, визначений перелік питань для обговорення, сформульована мотивація для зацікавленості студентів у вивченні теми, проаналізовані базові умови навчання з теми, обрані та проаналізовані джерела інформації для підготовки до семінару, описані критерії оцінювання доповідей студентів на семінарі та розроблений сценарій проведення семінарського заняття з теми.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Смольников Е.А «Термическая и химико-термическая обработка инструментов в соляных ваннах» М., Машиностроение —1989
2. Бельский С.Е., Тофпенек Структурные факторы эксплуатационной стойкости режущего инструмента. М., «Наука и техника» —1984
3. Ворошнин Л.Г., Менделеева О.Л., Сметкин В.А. Теория и технология химико-термической обработки М., «Новое знание» —2010
4. Бельский Е.И., Ситкевич М.В., Понкратин Е.И. Химико – термическая обработка инструментальных материалов М., «Наука и техника» —1986
5. Производство и исследование быстрорежущих и штамповых сталей Сборник докладов II научно-технического совещания по инструментальным сталям, М., «Металлургия» —1970
6. Армарего И.Дж., Браун Р.Х. Обработка металлов резанием М., Машиностроение, 1977—325с.
7. Лахтин Ю.М., Арзамасов Б.Н. Химико- термическая обработка металлов.- М.: Metallurgy, 1985.-256с.
8. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Азотирование стали.- М.:Машиностроение, 1976.-256с.
9. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. - М.:Metallurgy, 1983.- 527с
10. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали.-М.:Metallurgy, 1978.- 230с.
11. Ворошнин Л.Г., Хусид Б.М. Диффузионный массоперенос в многокомпонентных системах. - Мн.: Наука и техника, 1979-255с.
12. Смитзл К.Дж. Металлы: Пер. с англ.- М.: Metallurgy, 1980.- 447с. и техника. 1974.-286с.
13. Силицирование металлов и сплавов. / Л.С. Ляхович, Л.Г.Ворошнин, Э.Д. Щербаков, Г.Г.Панич.- Мн.: Наука и техника, 1972-277с.
14. А.с.- 1129267 СССР, МКИ С23С 9/04.Состав для силицирования

стальных изделий.

- 15 Новое в изготовлении и упрочнении инструментальной оснастки./ Е.И. Бельский и др.-Мн.:Беларусь, 1986- 112с.
- 16 Трахтенберг В.Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения.- Куйбышев.: Кн. из- во, 1964- 280с.
- 17 Бельский Е.И. Стойкость кузнечных штампов.- Мн.: Наука и техника, 1975- 240с.
- 18 Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования.- М.: Металлургия, 1971.- 608с.
- 19 Худокормова Р.Н., Пантелеенко Ф.И. Материаловедение.: Лаб.практикум. Учебное пособие для вузов.- Мн.: Выш. шк., 1988- 244с.
- 20 Григоров П.К., Катханов Б.Б. Методика определения хрупкости борированного слоя.- В сборнике научных трудов.: Повышение надежности и долговечности деталей машин. Ростов- на- Дону, 1972, вып. 16, с.97-98.
- 21 Виробництво і технології [Електронний ресурс]: <http://4ua.co.ua/manufacture/index.html>
- 22 Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс]: підруч. / В. П. Головенкін. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
- 23 Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 204 с.
- 24 Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УПА, 2019. – 174 с.
- 25 Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава

: АСМІ, 2020. – 303 с.

26 Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компрінт, 2025. – 224 с.

27 Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УІПА, 2025. – 82 с.

28 Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

29 Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

30 Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

31 Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

32 EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

33 Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

34 «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

35 Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

36 Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання

педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності
[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА**

**Навчально-науковий інститут «Українська
інженерно-педагогічна академія»**

(назва факультету/інституту)

Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

(назва кафедри)

кваліфікаційна робота рівня вищої освіти "магістр"

**Професійна підготовка фахівця підприємств
інструментального виробництва з підвищення стійкості
ріжучого інструменту за рахунок застосування нових
методів хіміко – термічної обробки**

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Виконав студент групи ДІТ-ПОМ23мг

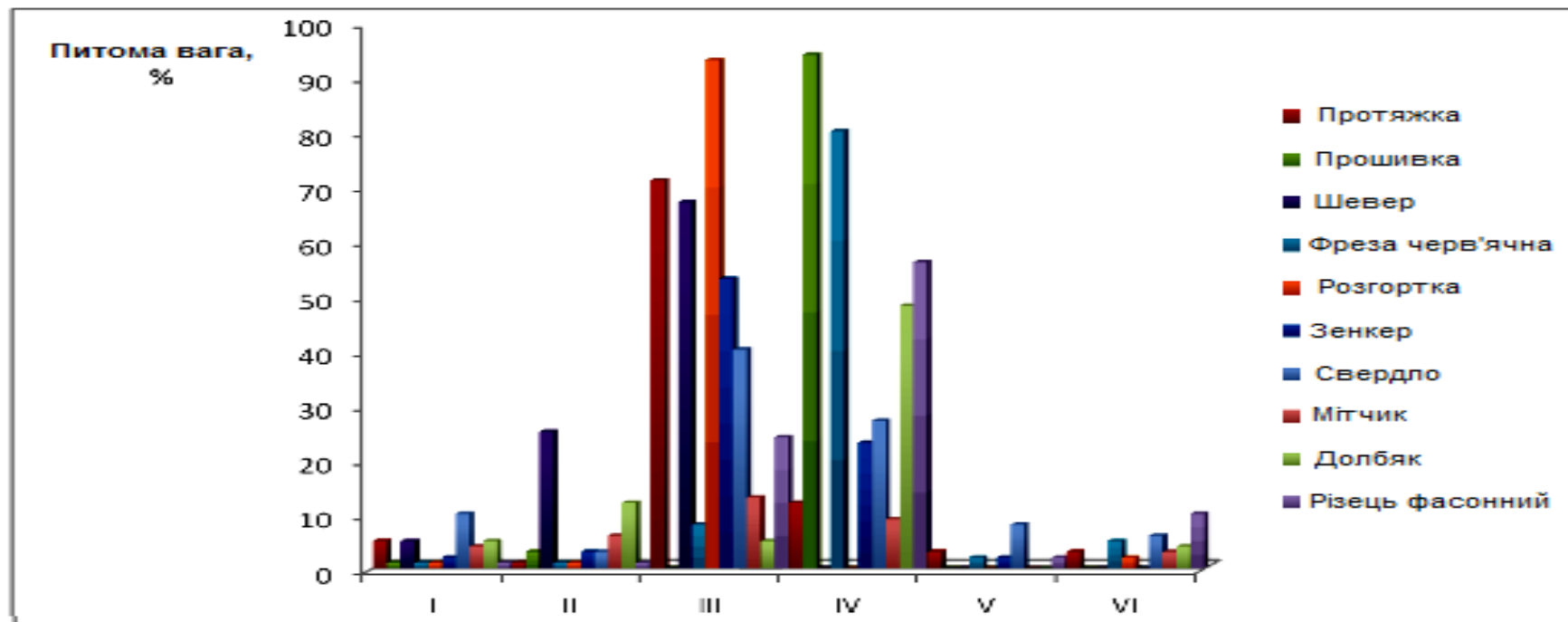
Керівник д.т.н., проф.

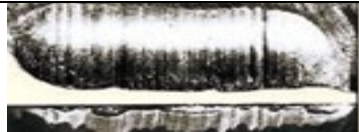
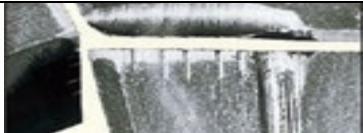
Денис ДІХТЯР

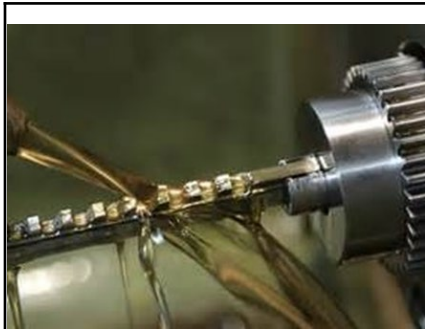
Олег ХОРОШИЛОВ.

№ п/п	Вид інструмента	Питома вага даної причини виходу з ладу, %					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Протягання	3-5	1-2	71-76	12-14	3-5	3-5
2	Прошивання	1	3-5	—	94-96	—	—
3	Шевер	5-8	25	67-70	—	—	—
4	Фреза черв'ячна	1	1-2	8-9	80-83	2	5-8
5	Розгорнення	1	1-2	93-97	—	—	2-4
6	Зенкер	2-4	3-5	53-57	23-24	2-3	12
7	Свердел	10-12	3-6	40-44	27-29	8	6-7
8	Мітчик	4-6	6-8	13-16	9-11	60	3-4
9	Долб'як	5-8	12-5	5-6	48-55	18	4-6
10	Різець фасонний	1	1-2	24-26	56-61	2-3	10-12

I-Поломка;
 II-Сколювання (осередкові руйнування поблизу ріжучої крайки);
 III,IV- стирання робочих поверхонь у нормальних умовах роботи й при значній пластичній деформації;
 V- зминання ріжучої крайки; VI- схоплювання

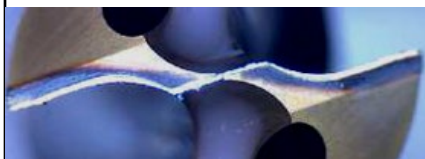


Вид ушкодження		Причина
Зношування по задній поверхні		Сплав малої твердості. Занадто більша швидкість різання. Занадто малий задній кут. Надмірно низька подача.
Крапкове зношування		Сплав малої твердості. Занадто більша швидкість різання. Занадто велика подача.
Викрашування		Сплав занадто великої твердості. Занадто велика подача. Недостатня міцність ріжучої крайки. Підвищене тертя й налипання на ріжучу крайку. Погане керування стружкодробленням
Поломки		Сплав занадто великої твердості. Занадто велика подача. Недостатня міцність ріжучої крайки. Недостатня твердість хвостовика або державки.
Пластична деформація		Сплав малої твердості. Занадто велика швидкість різання. Глибина різання й подача занадто великі. Висока температура різання.
Адгезія		Низька швидкість різання. Недостатня гострота. Неправильний вибір сплаву.
Термічні тріщини		Розширення або стиск завдяки температурі різання. Сплав занадто великої твердості. *Особливо при фрезеруванні.
Викривлення на ріжучій крайці		Тверді поверхні, такі як поверхні з кіркою, подкаление й оброблений зміцнений шар. Насічки утворюються стружкою неправильної ферми. (Через маленькі вібрації)



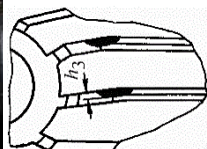
З аналізу причин виходу з ладу протяжок, використовуваних на виробництві поломка ріжучої частини є відносно рідким явищем і походить від відступів режимів термообробки або правил експлуатації. Сколювання й викрашування окремих зубів можливі на заключних стадіях роботи після кількаразового переточування.

Переважною причиною виходу протяжок із ладу, усіх типів, є «нормальне» зношування, що приводить до зменшення розмірів їх перетину по зубах. Інструмент знімається з експлуатації.



При свердлінні має місце зношування свердла по передній і задній поверхнях - зношування другого виду.

Вихід інструмента за рахунок поломок найбільш імовірний (10-12%),



Розгортка зношуються в основному по задній поверхні і куточка в місці переходу ріжучої частини в циліндричну (калібруючу) частину.

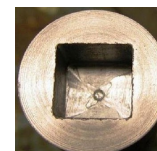
Знос захоплюванням першого роду (окислювальний, теплової) - це найважчий вид зносу, коли деформується метал рухається з невеликими швидкостями щодо інструменту.



Для черв'ячних фрез початкова стадія експлуатації характеризується утвором зони зношування по передній поверхні поблизу ріжучої крайки. Далі, при роботі починають з'являтися осередки руйнування по бічній поверхні і особливо в кутових зонах зубів, що приводить до зміни геометрії інструмента.



Знос інструменту по задній поверхні зуба.
Високий відсоток поломок зуба (5-8%)



Спостерігається кілька механізмів зношування, найбільш виражені окисно-абразивні процеси. (поломка 1%).

1. Насичення у твердих середовищах.
2. Насичення у рідких.
3. Насичення у газових середовищах.
4. Насичення у плазмі.

однокомпонентні:

цементация - насичення вуглицем; (карбиди)
азотування - насичення азотом; (нитриди)
алітування - насичення алюмінієм; (интерметаллиды)
хромування - насичення хромом; (интерметаллиды)
борування - насичення бором; (бориди)
силіціювання - насичення кремнієм; (силіциди)

багатокомпонентні:

нітроцементация (ціанування) - насичення азотом і вуглицем;
боро- і хромоалітірованіє - насичення, бором або хромом і алюмінієм, відповідно;
хромосіліцірованіє - насичення хромом і кремнієм.

Борування за допомогою сумішей і обмазок дає можливість здійснити зміцнення робочих поверхонь виробів практично будь-якої форми й габаритів без використання спеціального обладнання.

Постановка завдання

Об'єктами для зміцнення є деталі інструмента й технологічного оснащення, що виготовляються з дорогих легованих сталей: швидкорізальний інструмент (фрези, мітчики, довбяки), оснащення, що деформує (деталі штампів для холодної й гарячої обробки матеріалів тиском, волоки (філь'єри)

Метою роботи є дослідження впливу нових методів хіміко-термічної обробки, що сполучаються із загартуванням або відпусткою, без використання спец обладнання, на ефективність експлуатації інструмента у виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні завдання:

1. На підставі аналізу причин виходу з ладу різних видів інструмента визначити номенклатуру, яку доцільно піддавати ХТО (хіміко-термічній обробці).
2. Установити вплив технологічних параметрів хіміко-термічної обробки стали на мікроструктуру, фазову сполуку й властивості поверхневих шарів інструментальної сталі;
3. Досліджувати вплив зміцненого поверхневого шару інструмента на збільшення стійкості різних видів інструмента;
4. Розрахувати економічну ефективність у результаті використання сучасних методів хіміко-термічної обробки стосовно до різних видів інструмента, що мають підвищену стійкість після ХТО.

ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ, МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Боросіліціювання: [Boron-silicon cladding] - ХТО з одночасним або послідовним насиченням металів і сплавів кремнієм і бором; застосовується для підвищення зносостійкості, рідше жаростійкості і корозійної стійкості.

Матеріали:

- порошкоподібна суміші, що складається з карбіду бору (84%) і бури (16%), до яких додається суміш кристалічного Si (95%) і NH_4Cl (5%), дифузний шар складається з боридів FeB і Fe_2B і силіцидів FeSi і Fe_2Si .
- використані сталі 7X3, 5X3B3MФC, P6M5 і німецька порошкова сталь S390 (P10M2Ф5X5K8) застосовувані при виготовленні деформуючого оснащення й металорізального інструмента.

Контейнер



Камерна піч 900-1000°C



Шар суміші товщиною 20-30мм. На суміш укладаються оброблювані зразки таким чином, щоб відстань від зразків до стінок контейнера й між зразками було не менш 15мм. Зразки засипаються шаром суміші, суміш ущільнюється й укладається другий ряд зразків. Відстань між зразками повинне бути не менш 20мм. Останній ряд зразків засипається шаром сумішей товщиною 30 мм і покривається шаром чавунної стружки.

Мікроскоп МІМ-7



Твердомер ПМТ-3



Рентгенівський дифрактометр ДРОН-3

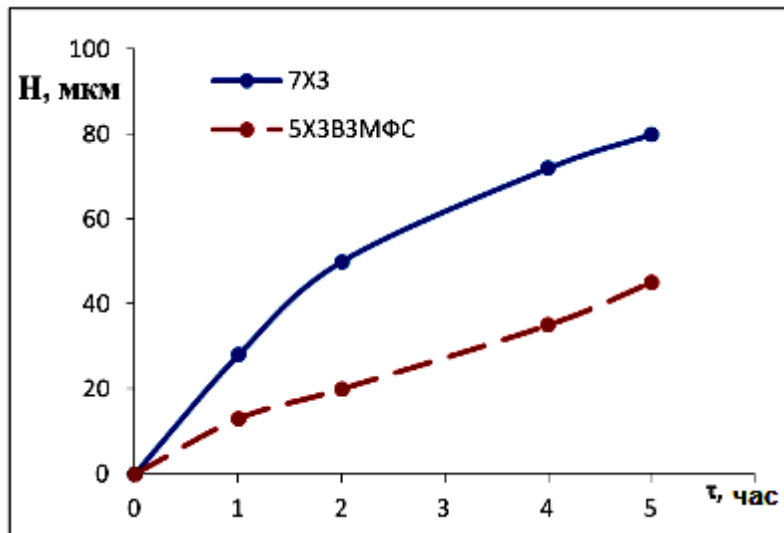


з монохроматизованим $\text{CoK}\alpha$ випромінюванням ($\lambda_{\text{ср}} = 1,78897 \text{ Е}$). Для мінімізації впливу текстури й розміру зерна досліджуваній об'єкт установлювався в приставці ГПКМ (2 гоніометра). Зйомка зразків здійснювалася при прискорювальній напрузі на рентгенівській трубці 30 кВ і анодному струмі 10 мА. Запис інтенсивності неухважного рентгенівського випромінювання проводився в режимі сканування (по крапках) з фіксованим часом рахунку 15 з на крапку. Крок сканування становить $0,1^\circ$.

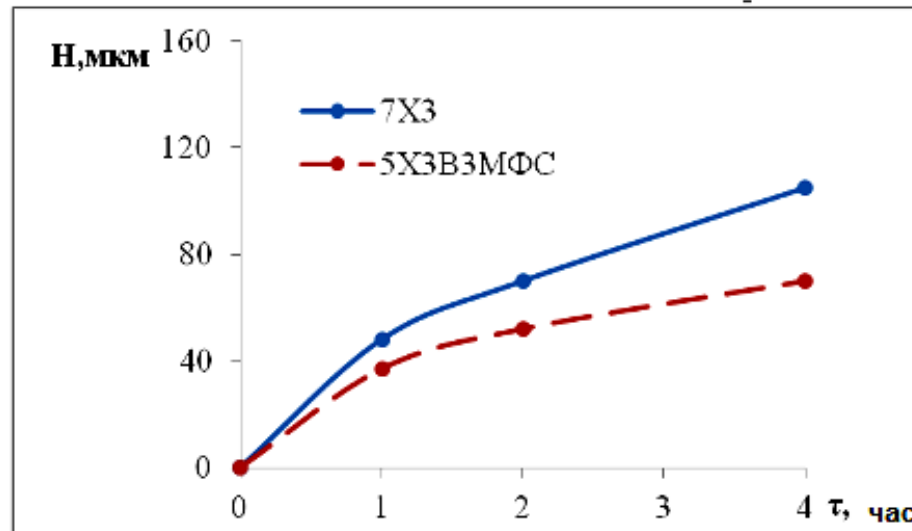
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Дослідження впливу параметрів ХТО на закономірності формування дифузійних шарів інструментальних сталей і структуру

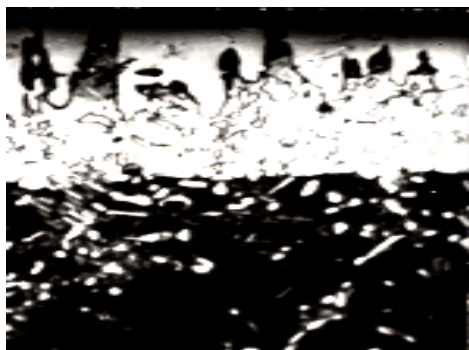
Вплив часу боросиліціювання на товщину (Н) дифузійного шару на сталях 7Х3, 5Х3В3МФС при температурі ХТО 900°C



Вплив часу боросиліціювання на товщину (Н) дифузійного шару на сталі 7Х3 при температурі ХТО 1000°C



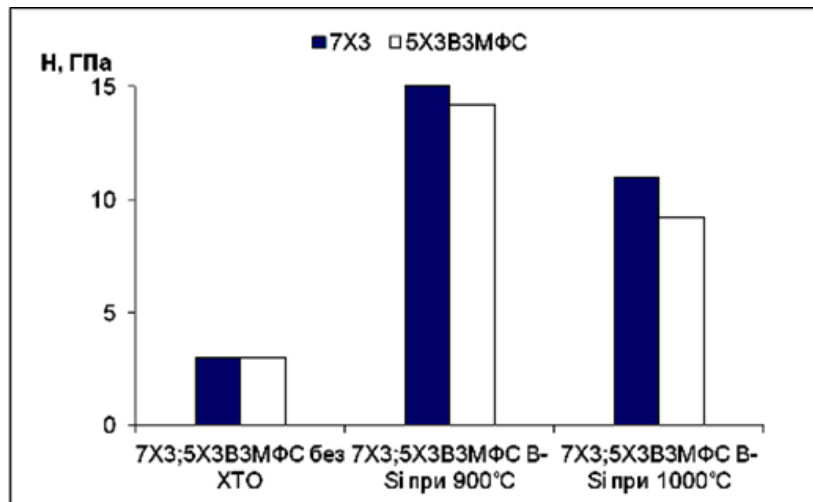
Мікроструктури стали 7Х3 після боросиліціювання, при температурі 1000°C, 4 години



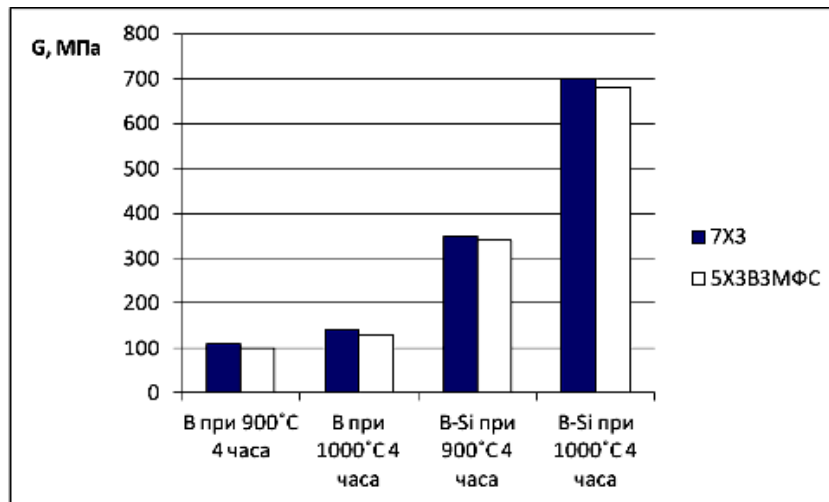
Результати досліджень показують, що на сталях 7Х3, 5Х3В3МФС товщина дифузійного шару зі збільшення температури з 900°C до 1000°C різкого росту товщини боросиліційованих шарів не спостерігається, що можна зв'язати зі зміною характеру дифузійного насичення двома елементами (бором і кремнієм). При збільшенні температури в поверхневий шар дифундує поряд з бором підвищена частка атомів кремнію, що приводить до появи в структурі дифузійного шару значної частки силіцидних фаз.

Однак температуру процесу не слід піднімати вище певної для кожної марки сталі (7Х3 - 900°C, 5Х3В3МФС - 1050°C), що б не відбулося оплавлення дифузійного шару.

Вплив ХТО на мікротвердість поверхневих шарів, отриманих при $T=1000^{\circ}\text{C}$, $T = 900^{\circ}\text{C}$, $t = 4$ години

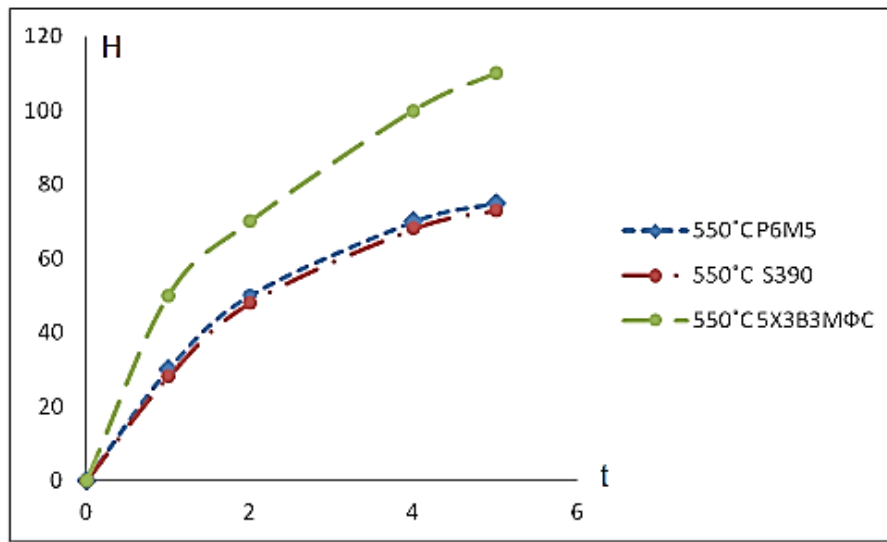
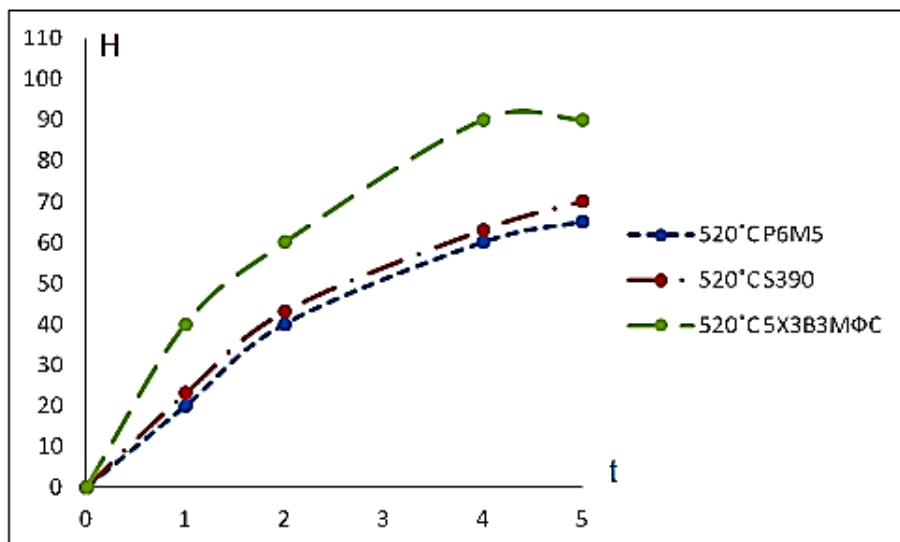


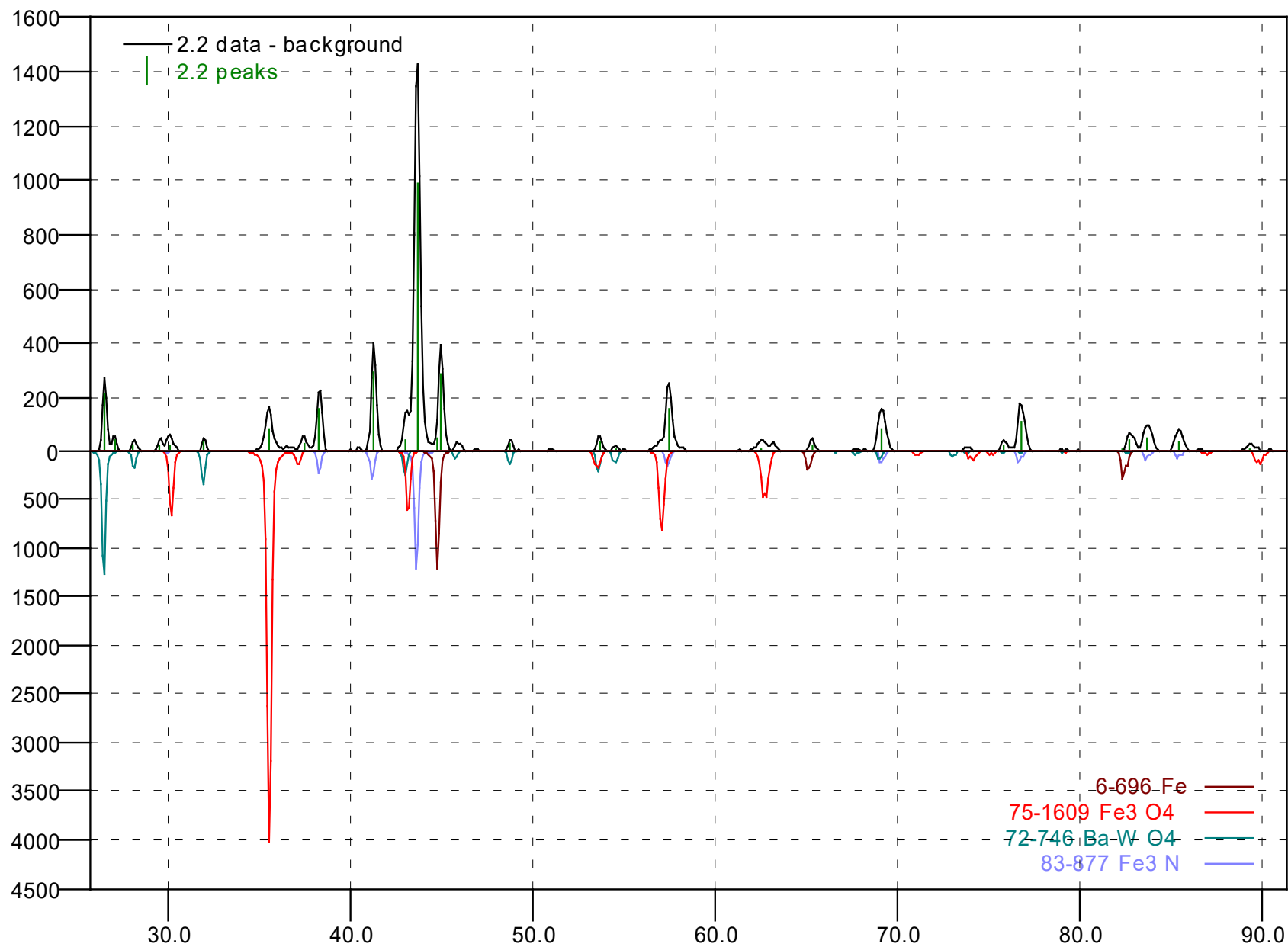
Вплив ХТО на мікротвердість поверхневих шарів, отриманих при температурі 900°C і 1000°C за 4 години



Дослідження впливу низькотемпературної хіміко-термічної обробки на структуру й властивості сталей, застосовуваних для виготовлення металорізального інструмента й деформуючого інструментального оснащення

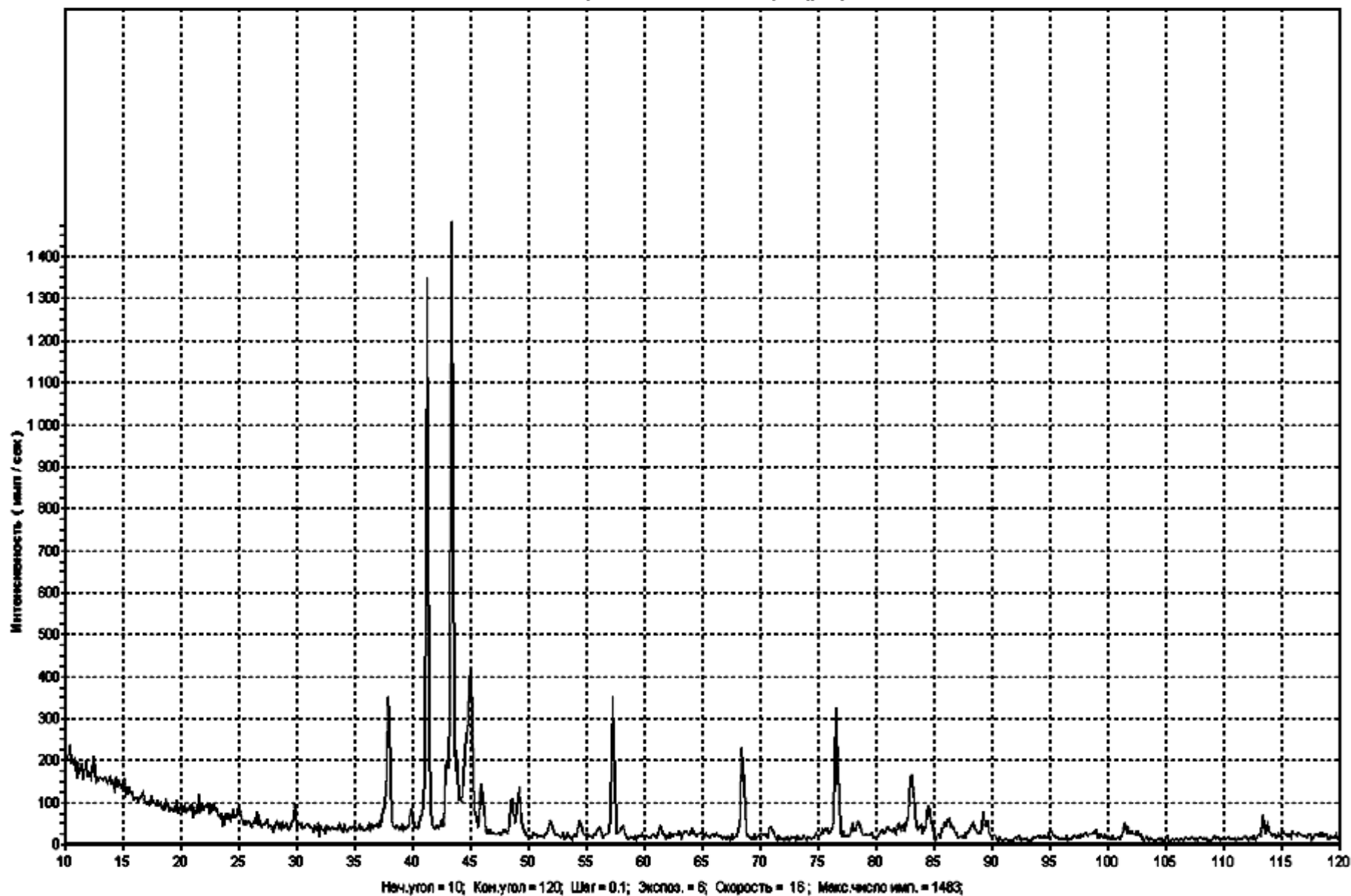
Вплив часу (t) борокарбоназотування на товщину (H) дифузійних шарів на сталях 5X3B3MFC, P6M5 і S390 при температурах ХТО 520°C і 550°C



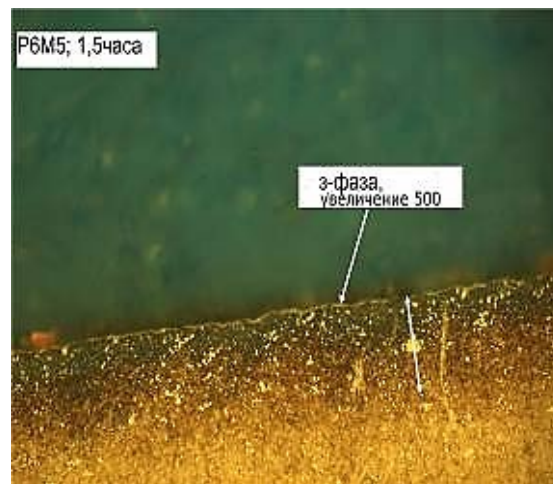
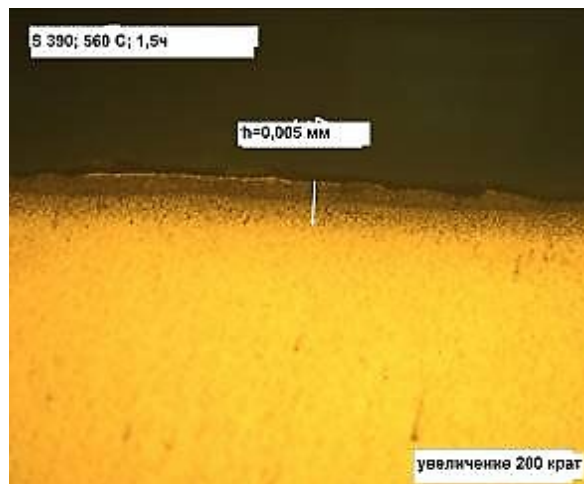
Фазовий аналіз зразків P10M2Ф5X5K8 після ХТО при $T=550^{\circ}\text{C}$ 

Фазовий аналіз зразків зі сталі 5Х3В3МФС після ХТО при T=550°C

Файл - 3.2.dsc; Съемка - 11.11.2011 13:34:36; Анод - Оц

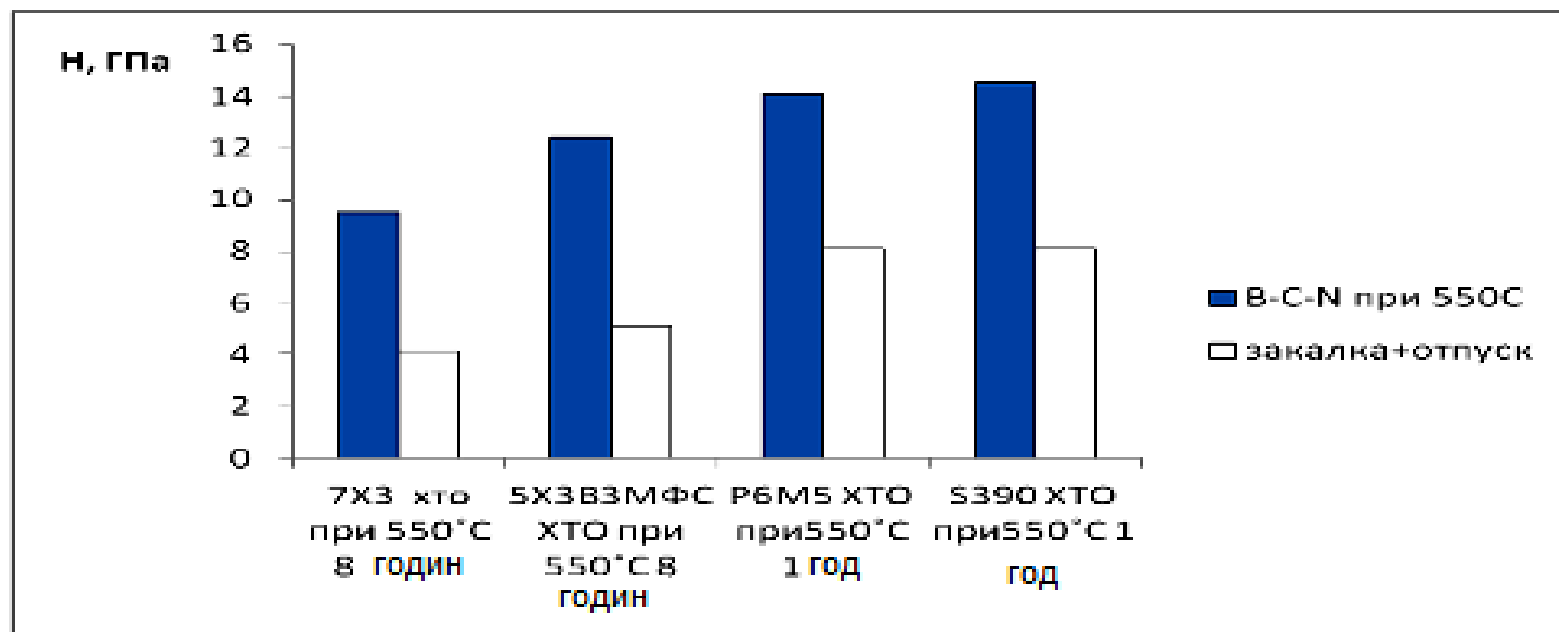


Мікроструктура сталі S390 (P10M2Ф5Х5К8 (а)) і Р6М5(б) після борокарбоазотування при 550°С
години



Мікронерівність борокарбоазотованого шару, на відміну від боросіліційованого, плавно зменшується в міру видалення від поверхні до серцевини, що забезпечує міцне їхнє зчеплення з металевою основою й запобігає сколюванню навіть при відносно високих динамічних навантаженнях.

Вплив ХТО на мікронерівність поверхневих шарів різних сталей, отриманих при 550°С



Твердість поверхневих шарів

Процес зміцнюючої обробки	Марка сталі	Твердість поверхневих шарів, ГПа
B-C-N, 5500C, 8 год.	7X3	9,5
B-C-N, 5500C, 6 год.	5X3B3MFC	12,4
B-C-N, 5500C, 1 год.	P6M5	14,1
B-3-N, 5500C, 1 год.	S 390	14,5
Загарт. + відп. 550°C	7X3	4,1
Загарт. + відп. 560°C	5X3B3MFC	5,1
Загарт. + відп. 550°C	P6M5	8,1
Загарт. + відп. 550°C	S 390	8,1

Встановлено, що у випадку присутності в складі сталей таких легуючих елементів як хром, вольфрам, ванадій, титан і ін. поряд з борокарбонітридами заліза в структурі дифузійного шару з'являються й борокарбонітриди зазначених елементів. Їхня мікротвердість суттєво перевищує твердість борокарбонітридов заліза, що приводить до підвищення мікротвердості всього дифузійного шару. Причому, чим більше легуючих елементів у сталі, тем вище твердість.

Вплив ХТО на показники зносостійкості інструменту

Зносостійкість фільєри зі сталі 7X3

№ п/п	Найменування інструмента	Стійкість без зміцнення	Стійкість після зміцнення
1	Фільєри 7990-5118	2,0	6,0

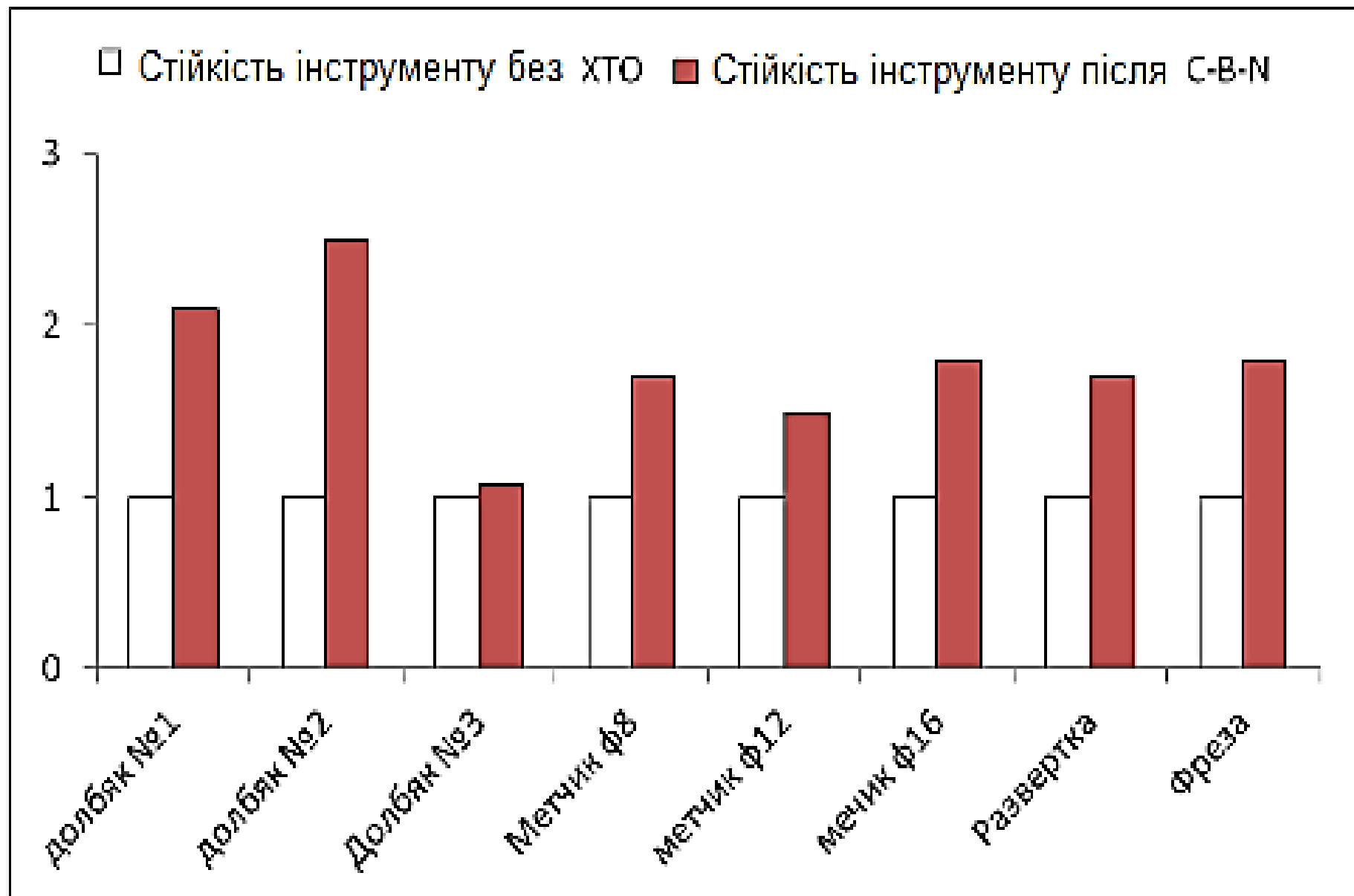
Стійкість фільєри зі сталі 5X3B3MFC

№ п/п	Найменування інструмента	Стійкість без зміцнення	Стійкість після зміцнення
1	Фільєри 7990-5113	2,0	6,0

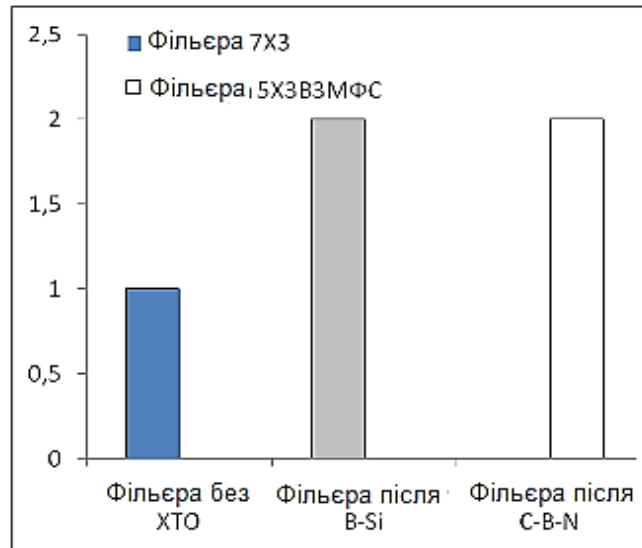
Випробування зубодовбального інструмента (Долбяк: m (модуль) = 5мм; z (число зубів) = 20)

Проходи		S_o мм/об	t , мм	V м/хв	L , мм	n , дв.хід/хв	T_e , хв
Чорновий $i=3$	1	0,18	5	11,25	76	74	378
	2		3				
	3		2,1				
Чистовий $i=1$		0,36	0,75	11,25	76	74	48

Узагальнена діаграма стійкості ріжучого інструменту



Діаграма стійкості ріжучого і фільєр



Розрахунки економічної ефективності долб'яків

№ пп	Найменування показника	Долб'як 1	Долб'як 2	Долб'як 3	Долб'як 4
1	Річна програма, шт	2000			
2	Матеріал ріжучої частини/вид зміцнення	S 390 + ХТО	S 390 + TiN	P6M5+ ХТО	P6M5
3	Витрати на інструмент, грн	39774615,38	142335866,67	6624666,67	58745000,0

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі результатів, отриманих у ході досліджень, можна зробити висновок, що використання нових дифузионно активних видів сумішей для підвищення стійкості різального інструменту й штампового оснащення дозволило збільшувати строк його експлуатації в 1,5 - 3 рази, у виробничих умовах ПАТ «Світло шахтаря».

2. Досліджена закономірність впливу температурно-тимчасових параметрів процесів на розмір зміцнених шарів. Так для одержання шару товщиною 70-100 мкм, при боросіліцюванні, можливо при температурі 900-920°C і часу витримки 4-6 годин. Підвищення температури процесу до 1000°C не дає значного росту товщини шару, тому що приводить до появи в структурі дифузійного шару значної частки силіцидних фаз. За даними рентгеноструктурного аналізу поряд з Fe₂B є присутнім α'-фаза (твердий розчин на базі сполуки Fe₃Si), мікротвердість якої помітно нижче, чим у фази Fe₂B. Середня мікротвердість поверхні після боросіліцювання при 1000 °C перебуває на рівні 10-11 ГПа, що помітно нижче, чим при температурі 900 °C (13-14 ГПа), але значно вище, чим твердість поверхні без ХТО - усього 2-2,5 ГПа.

3. Процес борокарбозотирования більш енергозберігаючий, тому що проводиться при температурах 450-600°C.

Зносостійкість борокарбозотированного шару також визначається глибиною, фазовою сполукою й твердістю зміцненого шару.

Для різального інструменту (долб'яки, мітчики, розгорнення, зенкери свердла, фрези, прошивання й ін.) типу, що виготовляється зі швидкорізальних сталей, P6M5, P18, P10M2Ф5Х5К8 (S390), як показують випробування, оптимальна товщина дифузійного шару 30-50 мкм. При температурі ХТО 550°C одержати дифузійні шари такої товщини можна за 50 - 80 хвилин.

4. Мікротвердість карбозотированных і борокарбозотированных шарів, на відміну від боросіліцюваних, плавно зменшується в міру видалення від поверхні до серцевини, що забезпечує міцне їхнє зчеплення з металевою основою й запобігає сколюванню навіть при відносно високих динамічних навантаженнях.