

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки та термічної обробки деталі «протяжка»

Виконав студент:

Макошенець Данило Володимирович

Залікова книжка № 21510008

Підпис \_\_\_\_\_

Керівник:

Харченко Надія Анатоліївна

Підпис \_\_\_\_\_

Співкерівник:

Яковлев Віктор Анатолійович

Підпис \_\_\_\_\_

Захищено з оцінкою

\_\_\_\_\_

оцінка, дата

Секретар ЕК

Підпис \_\_\_\_\_ Марченко К. С.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра прикладного матеріалознавства і технології конструкційних матеріалів

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Гарант Освітньої програми  
«Прикладне матеріалознавство»  
Харченко Н. А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Макошенцю Данилу Володимировичу, група МТ-01-1

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної роботи: Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки та термічної обробки деталі «протяжка»

2. Вихідні дані: креслення деталі та вимоги до неї вказані на кресленні (додаток А)

3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу

- 1) Креслення деталі.
- 2) Графік термічної обробки деталі.

4. Етапи виконання випускної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	Тижні			
		1	2	3	4
1	Розділ 1 Характеристика та умови експлуатації деталі	X			
2	Розділ 2 Огляд літератури	X			
3	Розділ 3 Характеристика матеріалу та його аналогів для виготовлення деталі. Вплив хімічних елементів на сталь та методи дослідження		X		
4	Розділ 4 Маршрутна технологія отримання деталі «протяжка»			X	
5	Розділ 5 Розрахунково-експериментальна частина			X	X

5. Дата видачі завдання 08.04.2024 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент каф. ПМ і ТКМ Харченко Н. А.  
(посада, прізвище)

Співкерівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

асистент каф. ПМ і ТКМ Яковлев В. А.  
(посада, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 58 сторінки, зокрема 11 таблиць, 21 рисуноків, список із 22 використаних джерел на 3 сторінках, 2 додатків на 2 сторінках.

**Метою роботи** є розробка сучасної технології виготовлення та термічної обробки деталі «протяжка» для підвищення експлуатаційних властивостей і характеристик готового виробу.

**Методи досліджень** – металографічний мікроструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, визначення карбідної неоднорідності.

Робота полягає в розробці сучасного методу отримання заготовки. Основні етапи включають: аналіз умов роботи протяжки, формулювання основних вимог до готового виробу; аналіз існуючих сучасних методів з вдосконалення конструкції протяжок, термічної обробки. Розроблена технологія отримання заготовки включає декілька послідовних етапів. Термічна обробка представляє собою три послідовні операції: ізотермічний відпал, гартування, триразовий відпуск. Результати були оцінені комплексним аналізом, який включає мікроструктурний, дюрOMETричний і визначення карбідної неоднорідності.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІНСТРУМЕНТ, РІЗАННЯ, ПРОТЯЖКА, ТВЕРДІСТЬ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВІДПАЛ, ГАРТУВАННЯ, ВІДПУСК.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Умови роботи деталі «протяжка».....	6
1.2 Причини виходу з ладу деталі протяжка .....	11
1.3 Вимоги до матеріалу для виготовлення деталі «протяжка».....	15
Висновки .....	18
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	19
Висновки .....	26
РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ «ПРОТЯЖКА» ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	27
3.1 Вибір матеріалу деталі «протяжка» .....	27
3.2. Методи дослідження .....	34
Висновки .....	39
РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ПРОТЯЖКА».....	40
Висновки .....	44
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	45
5.1 Термічна обробка деталі «протяжка».....	45
5.2 Вибір необхідного обладнання для реалізації технологічного процесу отримання деталі «протяжка».....	53
Висновки .....	58
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А .....	63
ДОДАТОК Б .....	64

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Сучасна промисловість України, особливо в умовах війни, представлена широким рядом нових і старих задач. Актуальність вивчення питання, щодо розробки технології виготовлення ріжучого інструменту є очевидним. Коректно призначена та реалізована термічна обробка інструменту позитивно вплине на його експлуатаційні властивості та характеристики.

**Метою роботи** є розробка сучасної технології виготовлення та термічної обробки деталі «протяжка» для підвищення експлуатаційних властивостей і характеристик готового виробу.

**Методи досліджень** – металографічний мікроструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, визначення карбідної неоднорідності.

**Завданнями досліджень** є аналіз умов експлуатації деталі «протяжка»; критичний аналіз літературних джерел; вибір і призначення матеріалу деталі; розробка технологічного процесу виготовлення та термічної обробки протяжки; вибір основного та допоміжного обладнання термічної обробки виробу.

**Практичне значення** отриманих в даній роботі результатів полягає в перспективності їх застосування в умовах реального виробництва сучасної України. Запропоновані в даній роботі матеріал, технологія виготовлення і технологія термічної обробки ріжучого інструменту «протяжка» представляють інтерес і можуть бути рекомендовані для використання на значній кількості виробництв.

## РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ

### 1.1 Умови роботи деталі «протяжка»

Деталь протяжка (рис. 1.1, додаток А) – металорізальний інструмент, з рядами зубів, що послідовно виступають один над одним, в напрямку, перпендикулярному до головному руху різання [1]. Ще треба зазначити, що протяжка призначена для обробки при поступальному головному русі і відсутності руху подачі [2].

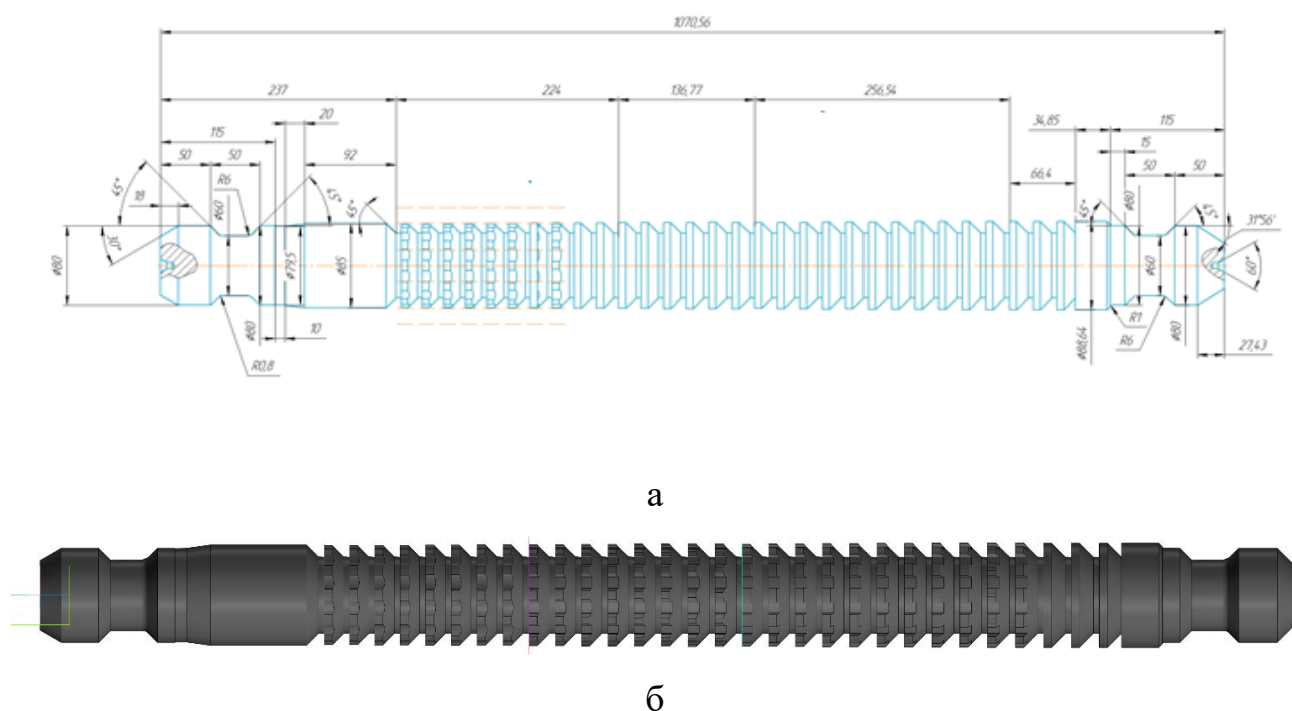


Рисунок 1.1 – Протяжка шліцева першого проходу:  
креслення (а), 3d зображення (б)

Протяжки – це багатозубий металорізальний інструмент, що здійснює процес зрізування шарів металу за відсутності руху подачі за рахунок перевищення ширини або висоти наступного зуба відносно ширини або висоти попереднього [3]. Це перевищення називають підйомом зуба протяжки.

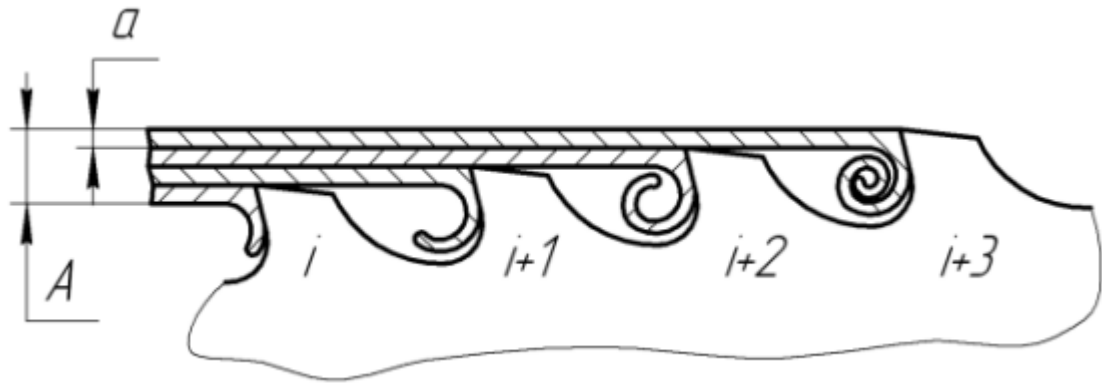


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення процесу зрізання шарів металу протяжкою [3]

Під час оброблення круглого отвору протяжка в поступальному русі відносно заготовки зрізує кожним зубом шар  $a$  (рис. 1.2), а в цілому – сумарний шар  $A$ . Зрізуваний шар  $a$  вимірюють у напрямі, перпендикулярному до обробленої поверхні [3].

Протягування – один з найбільш продуктивних видів обробки металів різанням. Висока продуктивність цього виду обробки досягається за рахунок великої сумарної довжини ріжучих кромки, що беруть участь у зрізанні металу, при якому використовується спеціальний різальний інструмент, званий протяжка [4].

Особливість процесу протягування полягає також у тому, що в процесі різання стружка не може бути видалена із западини між зубами протяжки і повинна повністю розміщуватися у западині до кінця оброблення деталі [3].

Протяжки набули значного поширення в основному в масовому й багатосерійному виробництвах унаслідок того, що протяжка [3]:

один із найпродуктивніших різальних інструментів;

дозволяють одержувати високу точність (7—6 квалітети) і якість оброблення ( $R_a = 2,5—0,63$ ) за низької кваліфікації робітників;

мають високу стійкість;

дуже економічний інструмент (складова інструменту, яка входить до собівартості деталі, відносно невелика).

Протяжка – спеціальний інструмент, який проектують і виготовляють для оброблення однієї або декількох певних деталей. Вона складна і дорога. Це і

обумовлює рентабельність застосування протяжок саме в масовому і багатосерійному виробництвах. Проте протяжки можна застосовувати й у дрібносерійному виробництві, у тих випадках, якщо необхідна точність оброблення деталі може бути отримана лише протягуванням. Протяжки мають високу продуктивність, незважаючи на те, що вони працюють за малих швидкостей різання:  $V = 3—12$  м/хв. Причиною цього є те, що під час протягування відпадає необхідність у спеціальному русі поширення зони різання на всю оброблювану поверхню. Поверхня утворюється зі швидкістю, яка дорівнює швидкості різання, тоді як під час точіння або свердління це величина подачі за одну хвилину  $S_{хв} = S_n \ll 12$  м/хв [3].

Висока продуктивність протяжок обумовлена також тим, що кожна протяжка поєднує в собі чорнові, чистові і калібрувальні зуби, завдяки цьому однією операцією протягування може бути замінено дві або три окремі операції.

Протяжки поділяють в основному на два види [3]:

- для протягування отворів – внутрішні протяжки,
- для протягування відкритих поверхонь – зовнішні протяжки.

Протяжки зазвичай працюють із прямолінійним рухом різання. В окремих випадках застосовують протяжки також із коловим рухом різання. Оброблені такими протяжками поверхні можуть бути тілами обертання з довільної форми твірною (криволінійною, східчастою, конічною та ін.), тоді як протяжками з прямолінійним рухом різання обробляють поверхні лише з прямолінійними твірними [3].

Найбільш поширені в машинобудуванні протяжки з прямолінійним рухом різання.

Протяжки також розрізняють за схемою силового навантаження (рис. 1.3). Якщо сили розтягують її (рис. 1.3 а), то таку протяжку називають власне протяжкою. Якщо ж сили її стискають (рис. 1.3 б), то таку протяжку називають прошивкою [3].



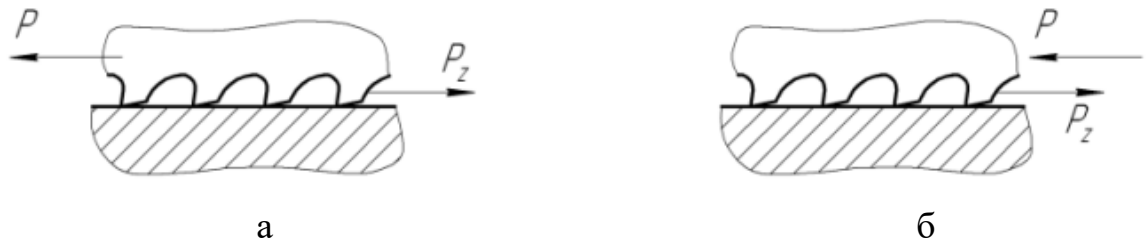


Рисунок 1.3 – Ескіз протяжки (а) ескіз прошивки (б) [3]

За формою отворів протяжки класифікують [4]:

- шліцеві – для обробки шліцевих отворів з будь-яким типом шліців ГОСТ 25157-82, 25161-82 (рис.1.4, а)
- шпонкові – для обробки шпонкових пазів та пазів взагалі ГОСТ 18217-90, 18220-90 (рис.1.4, б)
- круглі – для обробки круглих отворів ГОСТ 20364-74, 20365-74 (рис.1.4, в)
- квадратні – для квадратних отворів ГОСТ 26478-85, 26480-85
- грані – для багатогранних отворів ГОСТ 28442-90
- протяжки для обробки гвинтових канавок



а



б



в

Рисунок 1.4 – Різновиди протяжок (фото):  
шліцеві (а), шпонкові (б), круглі (в) [1]

Протяжки складаються із приєднувальної частини, за допомогою якої сила від верстата передається на протяжку, і робочої частини, яка безпосередньо виконує роботу різання [4]. До приєднувальної частини внутрішніх протяжок належать (рис. 1.5) хвостовик 1, шийка 2, опорна цапфа 7. Перехідний конус 3, передня напрямна 4, задня напрямна 6 – допоміжні орієнтувальні елементи [4].

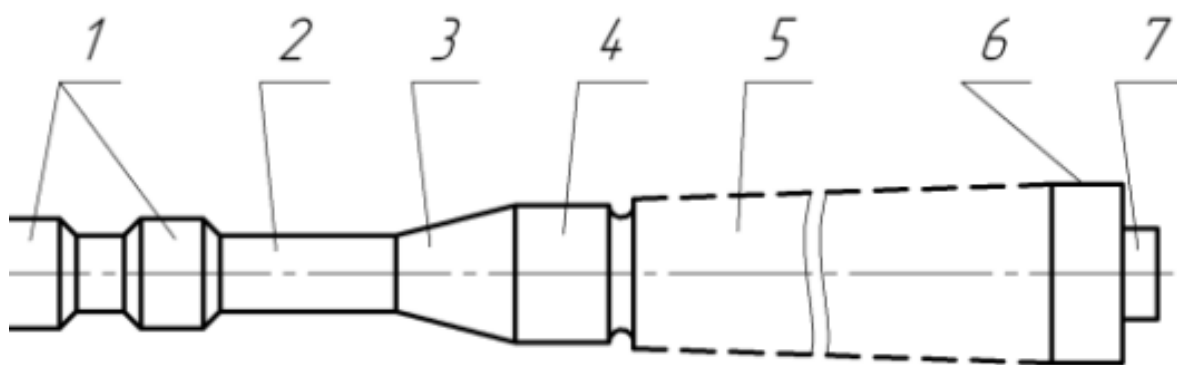


Рисунок 1.5 – Складові частини протяжки

Робоча частина 5 складається з чорнових, чистових, калібрувальних та іноді ущільнювальних зубів.

Основні типи і розміри хвостовиків для протяжок стандартизовані. Вони залежать від розмірів попередньо створеного отвору і конструкції патрона, в якому закріплюється хвостовик. Зовнішні протяжки закріплюються на повзуні верстата для зовнішнього протягування і не мають хвостовиків. Діаметр хвостовика роблять меншим від діаметра отвору під протягування не менше ніж на 0,3 мм для вільного входу хвостовика в деталь. Остаточний розмір діаметра хвостовика визначають за розміром стандартного верстатного патрона. Довжина хвостовика відповідає розмірам патрона. Шийка сполучає хвостовик із перехідним конусом. Її довжина повинна забезпечити можливість приєднання протяжки до патрона протяжного верстата. Перехідний конус призначений для попередньої орієнтації інструменту. Він необхідний для безперешкодного введення передньої напрямної протяжки в отвір. Довжина конуса 10 – 20 мм залежно від діаметра протяжки. Менший діаметр конуса дорівнює діаметру хвостовика або шийки. Передня напрямна призначена для центрування протяжки в отворі заготовки, завдяки чому передні зуби зрізають рівномірний припуск по всьому контуру отвору. Передня напрямна також запобігає перекошуванню деталі. Задня напрямна запобігає перекошуванню протяжки під час виходу з деталі останніх зубів протяжки і тим самим усуває небезпеку пошкодження обробленої поверхні та поломки зубів [4].

## 1.2 Причини виходу з ладу деталі протяжка

Працездатність різального інструменту характеризується станом, за якого інструмент здатен виконувати обробку різанням за встановлених у нормативно-технічній документації умовах та вимогами [5].

Непрацездатним станом різального інструменту, що характеризується його «відмовою», може бути відхилення від встановлених значень хоча б одного з параметрів ріжучого інструменту, вимог або характеристик обробки, що виконується цим інструментом [5].

У процесі різання інструмент втрачає свою працездатність внаслідок руйнування чи зношування леза [5].

На сьогодні сформульовані основні причини виходу з ладу інструменту (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Схема сучасного уявлення о причинах втрати працездатності ріжучого інструменту [5]

Вивчення фізичних закономірностей відмови інструменту дозволяє сформулювати вимоги до інструментальних матеріалів і визначити області їх ефективного застосування.

При недостатній міцності леза інструменту його вихід з ладу («раптова відмова») відбувається шляхом крихкого руйнування (сколювання і викрощування)

або в результаті пластичної деформації та подальшого зрізання поверхневого шару леза [5].

Крихке руйнування леза є результатом поступового розвитку та накопичення втомних мікротріщин, які згодом, зі збільшенням зовнішнього навантаження зливаються в макротріщину. Цей процес (зародження та розвитку тріщин) відбувається у часі, тобто залежить від величини та тривалості застосування навантаження [5].

Зустрічаються два види крихкого руйнування леза: викрашування ріжучих кромок; сколи ріжучого леза [5].

Викрашування – це відділення дрібних частинок ріжучої кромки, при якому розміри руйнувань, як правило, менше контактної ділянки передньої поверхні зі стружкою. Воно пов'язане частіше всього з поверхневими дефектами, дефектами заточування, неоднорідністю структури інструментального матеріалу, залишковою напругою та ін. Інструмент із викришеною ріжучою кромкою може продовжувати зняття стружки, однак таке різання буде передаварійним. Окремим різновидом викрашування є «осипання» ріжучої кромки – часткове чи суцільне руйнування її ділянок розмірами трохи більше 0,3 мм [5].

Сколювання – це відділення порівняно великих обсягів ріжучого леза, які перевищують розмір контакту передньої поверхні зі стружкою. Після цього різання інструментом стає неможливим [5].

Як характеристика опору крихкому руйнуванню інструментального матеріалу може бути межа його міцності при одновісному розтягуванні  $R_m$ . При збільшенні  $R_m$  граничні товщини шару, що зрізається, зростають і навпаки. Зменшення  $\alpha_{пр}$  в залежності від марки інструментального матеріалу має місце у такому порядку: швидкорізальна сталь, тверді сплави групи ВК та ТТК, далі група ТК, БВТС, ріжуча кераміка та надтверді матеріали [5].

Експериментально встановлена приблизно лінійна залежність між межею міцності на розтяг  $R_m$  інструментального матеріалу і граничною товщиною шару, що зрізається  $\alpha_{пр}$ , при якій відбувається руйнування різальної частини інструменту. Якщо  $R_m$  для швидкорізальної сталі становить 1800...2000 МПа, для твердих сплавів – 500...800 МПа, для різальної кераміки – 150...200 МПа та для алмазу –

100 ... 150 МПа, то за інших рівних умов величина  $\alpha_{пр}$  для швидкорізального інструменту буде в 3 рази більше, ніж для твердих сплавів, у 8...10 разів більше, ніж для ріжучої кераміки, і в 15...20 разів більше, ніж для алмазу. Тому можна зробити висновок, що інструменти з алмазу та різальної кераміки застосовують лише для чистових операцій, коли товщини зрізів малі і в різальній частині інструменту переважно діють напруги стиснення [5].

Існує область умов різання, за яких властивості інструментального матеріалу настільки змінюються, що інструмент не в змозі зрізати стружку, так як сам може піддаватися пластичній деформації та зрізу. Розвитку цього процесу сприяють інтенсивний розігрів (вище критичної температури теплостійкості) та розм'якшення інструментального матеріалу при режимах різання, що характеризуються високими силовими та тепловими навантаженнями [5].

Другим фактором може бути причиною виходу із ладу – це всебічне стиснення різального леза, внаслідок чого пластичність матеріалу інструменту в цій зоні суттєво підвищується [5].

Експериментально доведено, що для запобігання деформації різального леза при зрізанні стружки повинно дотримуватися співвідношення твердості:  $HV_i / HV_{стр} \geq 1,4$  [5]. Тобто твердість інструментального матеріалу повинна бути в 1,4 рази більша за твердість матеріалу, що піддається в цей час обробці.

Зі збільшенням швидкості різання твердість основної маси стружки практично не змінюється, тому що температура в зоні стружкоутворення піднімається незначно і становить лише 100...300 °С. У той же час в тонких контактних шарах інструментального матеріалу температура може зростати до величин, що перевищують критичну температуру теплостійкості інструментального матеріалу. Тому локальна твердість цих шарів із підвищенням температури зменшуватиметься. У момент, коли співвідношення твердості матеріалів інструментального та стружки буде нижче критичного значення, розпочнеться інтенсивне пластичне деформування поверхневих шарів ріжучого леза [5].

При обробці сталей, жароміцних, титанових сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів, що мають низьку теплопровідність, швидкість

різання найчастіше обмежується межею пластичної міцності інструментальних матеріалів. Тому резервом зростання продуктивності обробки таких матеріалів є підвищення межі пластичної міцності (твердості при нагріванні та теплопровідності) інструментальний матеріал [5].

В результаті експлуатації інструменту відбувається його зношування у вигляді [5]:

- поступового втомного виривання мікрочастинок;
- перенесення (дифузії) хімічних компонентів, що входять до складу інструментального матеріалу;
- взаємного розчинення з контактним шаром оброблюваного матеріалу;
- утворення рідкої фази з більш легкоплавких нових сполук, отриманих в результаті хімічного синтезу компонентів інструментального та оброблюваного матеріалів та газів з навколишнього контакту середовища.

Ще одним із ймовірних причин виходу з ладу інструменту протяжка може бути наступна ситуація. Задня напрямна повинна вільно проходити крізь отвір, виготовлений повністю зношеною протяжкою. Якщо цього не враховувати, то в деякий момент часу деталь ущільнюється на задній напрямній, система «протяжка – деталь» сприймається як одне ціле і, за наявності значних відхилень від перпендикулярності торця деталі до її внутрішньої поверхні, протяжка згинається й у її тілі виникає значна концентрація напружень. Це призводить до руйнування протяжки внаслідок вигину (рис. 1.7) [4].

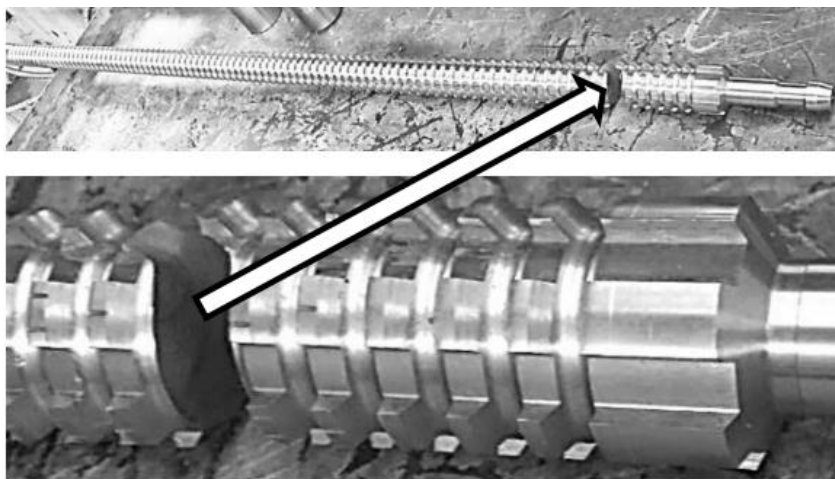


Рисунок 1.7 – Руйнування протяжки під час вигинання через неперпендикулярність торця деталі до її внутрішньої поверхні [4]

Сила різання під час протягування залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, товщини і ширини шару, що зрізується, геометрії та затуплення зубів, властивостей змащувально-охолоджувальної рідини та ін. [4].

З точки зору зменшення сили протягування вигідніше розробляти протяжки, які зрізують більш товсті шари металу [4].

Небезпечний переріз протяжки може знаходитися на хвостовику, якщо хвостовик приварений із сталі марки 40Х. А якщо протяжка виготовлена цілком з інструментальної сталі, то небезпечним може бути переріз по западині перед першим зубом. Перевіряють в обох перерізах. Допустиме напруження для сталі марки 40Х –  $\sigma = 25$  кг/мм<sup>2</sup>, для сталі ХВГ –  $\sigma = 30$  кг/мм<sup>2</sup>, для швидкорізальної сталі Р6М5 –  $\sigma = 35 - 40$  кг/мм<sup>2</sup> [4]. Твердість робочої частини НРС 62—65.

### **1.3 Вимоги до матеріалу для виготовлення деталі «протяжка»**

Під час розгляду питання щодо вимог до матеріалу деталі «протяжка» нам треба врахувати всі умови роботи деталі. Вимоги, які висуваються до готового виробу по суті – це і є питання щодо основного призначення готового виробу, дослідження питання які зовнішні і внутрішні чинники впливають на виріб, в яких умовах працює виріб, які функції виконує.

Лезо інструменту піддається інтенсивному впливу значних силових навантажень і температур, а також хімічній взаємодії з матеріалом, що обробляється. З урахуванням необхідності опору контактних ділянок різального інструменту зношування, мікро- та макроруйнування до властивостей інструментальних матеріалів пред'являється ряд спеціальних вимог [5]:

1. Висока твердість. Твердість інструментального матеріалу повинна бути в 1,4–1,7 разів вищою за твердість оброблюваного матеріалу.

2. Висока міцність. Якщо висока твердість не забезпечується необхідною міцністю, оброблюваний матеріал стає крихким, і це призводить до викришування ріжучих кромки інструменту або його поломки. Крім того, інструментальний матеріал повинен мати достатній рівень ударної в'язкості та чинити опір появі тріщин (мати високу тріщиностійкість).

3. Висока теплостійкість, тобто здатність матеріалу зберігати високу твердість та міцність при температурах різання. Підвищення теплостійкості інструментального матеріалу дозволяє працювати з великими швидкостями різання (табл. 2.1).

4. Висока зносостійкість за підвищеної температури, тобто висока опірність стиранню оброблюваним матеріалом.

5. Низька фізико-хімічна активність інструментального матеріалу по відношенню до оброблюваного.

6. Висока технологічність – властивість, що забезпечує оптимальні умови виготовлення інструментів.

Наприклад, для інструментальних сталей такими умовами є: хороша оброблюваність різанням та тиском; сприятливі особливості термічної обробки (мала чутливість до перегріву та знеуглецювання, хороші загартованість і прогартованість, мінімальні деформації та утворення тріщин при гартуванні тощо); хороша шліфованість після термічної обробки.

Таблиця 2.1

Зв'язок між теплостійкістю і максимальною швидкістю різання для різних інструментальних матеріалів [5]

№ п/п	Матеріал	Критична температура теплостійкості, °С	Максимальна швидкість різання сталі 45, м/хв
1	Вуглецева сталь	200-250	10-15
2	Легована сталь	350-510	15-30
3	Швидкорізальна сталь	600-650	40-60
4	Твердий сплав		
	-вольфрамовий;	900-930	120-200
	-титановий, титано-танталовий;	1000-1030	150-250
	-безвольфрамовий;	800-830	100-300
	-зпокриттям	1000-1100	200-300
5	Кераміка	1200-1230	400-600



7. Інструментальний матеріал повинен бути економічним, тобто вартість інструменту, з нього виготовленого, що припадає на одиницю продукції повинна бути мінімальною.

## Висновки

В розділі розглянуті основні питання щодо деталі «протяжка».

Встановлено, що протяжка – це складний, високопродуктивний ріжучий інструмент. Послідовно розташовані зуби різної висоти забезпечують зрізання шару металу. Висока якість поверхні після обробки – є ще однією визначальною ознакою протяжок.

Розглянуто класифікації протяжок в залежності від декількох визначальних факторів. Встановлено, що протяжка складається з декількох частин. Основними складовими протяжки є хвостовик і ріжуча (робоча) частина. Існує конструкція і цільна, тобто матеріал хвостовика і робочої частини – це один матеріал.

Проаналізовані основні причини виходу з ладу інструменту: руйнування і зношування. Крім того більш детально розглянуто умови, за яких деталь руйнується і зношується і методи, що дозволять запобігти цим негативним наслідкам.

Основні матеріали, які забезпечують працездатність протяжки є сталі вуглецеві і леговані, тверді сплави, мінералокераміка і швидкорізальні сталі.

Протяжка працює в складних умовах: значні навантаження, підвищені температури. Від ріжучого інструменту протяжка вимагають не лише високі твердість, міцність, теплопровідність і збереження цих властивостей і характеристик за високих температур. Твердість робочої частини HRC 62—65.

## РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Існує декілька напрямів, за якими можна вдосконалювати процес протягування. Зосередимся на вдосконаленні безпосередньо інструменту протяжка. В цьому випадку ми можемо апелювати до декількох напрямів: вдосконалення конструкції протяжки, матеріалу, технології виготовлення, технології термічної та або хіміко-термічної обробки інструменту.

Так пропонується конструкція протяжки для швидкісної обробки [6]. Крім стандартних чистових й калібрувальних зубів перший калібрувальний зуб виконаний зі стружкороздільними канавками. Запропонована конструкція протяжки забезпечує дроблення стружки, зниження сили різання, виключення захвата зубом, що калібрує, металу виробу, та можливість збільшення швидкості обробки. Обробка запропонованою протяжкою може здійснюватися при швидкостях від 50 до 180м/хв. Протягування проходить з застосуванням змащувальній охолоджуючій рідині [6].

Існує пропозиція щодо використання комбінованої протяжки [7]. Даний інструмент складається з деформуючих елементів і розташованих між ними двох різальних зубців, яка відрізняється тим, що один із різальних зубців зорієнтований за напрямком прямого руху інструмента, а другий - зворотного, при цьому другий різальний зубець має діаметр, не менший, ніж діаметр останнього деформуючого елемента. Результатом є розширення технологічних можливостей комбінованого протягування при прямому та зворотному рухах інструмента [7].

Протяжка для механічної обробки з високою точністю внутрішніх канавок запропонована в роботі [8]. У даному винаході пропонується протяжка, призначена для формування внутрішніх канавок і що дозволяє забезпечити суворе центрування канавок, що обробляються, по відношенню до вихідної розточки. Протяжка має форму прямого стрижня з геометричною віссю і виготовлена з матеріалу, що звичайно використовується для різального інструмента. Протяжка містить засоби зачеплення і розташовані послідовно від передньої частини до задньої частини вхідну напрямну і різальну ділянку, причому вхідна напрямна виконана циліндричною, має діаметр  $D_1$  і центрована на геометричній осі, і різальна ділянка

містить множину різальних зубців, центрованих на геометричній осі і повернених в напрямі передньої частини, причому зубці мають зовнішній діаметр  $D$ , щонайменше рівний діаметру  $D1$  і який поступово зростає в напрямі від передньої частини до задньої частини. Зубці відділені один від одного в бічному напрямі виїмками, що заглиблюються всередину тіла протяжки аж до діаметра  $D3$ , що не перевищує діаметр  $D1$  вхідної напрямної. Різальна ділянка розділена в напрямі від передньої частини до задньої частини на декілька різальних зон, відділених одна від одної напрямними повторного центрування. Різальні зони містять різальні зубці, а напрямні повторного центрування є циліндричними, яка відрізняється тим, що напрямні повторного центрування мають діаметр, рівний діаметру  $D1$  вхідної напрямної.

Протяжка відрізняється тим, що кожна з напрямних повторного центрування містить з переднього боку скошену кромку. Крім того кожна з різальних зон містить в осьовому напрямі щонайменше три різальних зубці [8].

Існує конструкція мітчика-протяжки [9]. Інструмент виконано у вигляді хвостовика, який розміщений спереду ріжучої частини, а ріжуча частина виконана у вигляді конічної різі, де кожен наступний зуб має відповідний підйом, як у протяжки і калібруючої частини, а на робочій частині прорізані гвинтові стружкові канавки, направлені в протилежну сторону витків різі, який відрізняється тим, що інструмент виконано у вигляді збірної конструкції з можливістю їх взаємозаміни аналогічними або іншими типорозмірами ріжучих елементів - це вал зі шпонковими канавками, який є у взаємодії з внутрішніми шпонковими пазами окремих ріжучих секцій мітчика протяжки, які мають 3...6 подовжніх канавок для виходу стружки, причому протяжні елементи мають свої підйоми на зуб, у міру збільшення діаметрів вони є збільшеними, а довжина окремих ріжучих секцій є більшою або рівною довжині оброблювальної деталі, при цьому на робочій частині секцій мітчика протяжки по зовнішньому діаметру прорізані гвинтові стружкові канавки, напрямок яких є протилежним напрямку витків різі зі змінними кроками, причому ріжучі канавки на окремих ріжучих секціях повинні бути на одній лінії, крім цього, на початку вала нарізана різь, яка є у взаємодії з затискною гайкою і контргайкою, при цьому упорні збірні елементи мітчика-протяжки в разі потреби є

у взаємодії з упорними мідними шайбами прокладками і кінець вала є опорою в пристрої для нарізання різі [9].

Враховуючи інформацію щодо значних випадків зношування інструментів представляє певний інтерес саме методи з підвищення властивостей термічною обробкою. Саму природу зношування лез різальних інструментів можна пояснити такими фізичними явищами (зносами) [5]:

- абразивним,
- адгезійно-втомним,
- дифузійним,
- окислювальним
- зносом оплавленням (евтектичним).

**Абразивне зношування (абразивний знос).** Механізм абразивного зносу полягає в тому, що тверді включення в оброблюваному матеріалі, проникаючи в контактні поверхні інструменту, дряпають ці поверхні, залишаючи ризики. Однак мікрорізання зі зняттям стружки в даному випадку відбувається не завжди. Найчастіше виникнення рисок на інструментальному матеріалі відбувається внаслідок його пластичного відтіснення в сторони під час руху більш твердої частки. Таким чином, чим більше у складі оброблюваного матеріалу буде твердих фаз, тим більше контактів з поверхнею леза інструмента відбудеться при їх взаємному переміщенні. При кожному новому контакті відбуватиметься чергове «різання – дряпання» чи «відтіснення» інструментального матеріалу, в результаті чого поверхня тертя в мікрооб'ємах інструментального матеріалу піддаватиметься процесам пластичного передеформування. Особливо сильно зношується через абразивну дію задня поверхня, на якій з'являються поглиблення у вигляді рисок і канавок, паралельних руху різання [5].

У цьому випадку пластичних деформацій з утворенням рисок (слідів деформації) найімовірніше прояв механізму малоциклової втоми. Тому більш точною назвою для абразивного зношування є абразивно-втомне зношування [5].

Інтенсивність абразивно-втомного зношування зростає при збільшенні вмісту в сталях цементиту (100 HV) і складних карбідів, у чавунах – цементиту та

фосфідів, у силумінах – карбїду кремнію, у жароміцних сплавах – інтерметалїдів, які зберігають високу твердість навіть за високих температур різання [5].

З усіх структурних складових сталі найменшою стираючою здатність має ферит (8 HV). За ним слїдує зернистий перліт (15-20 HV), стиральна здатність якого тим менша, чим менше розміри зерен цементиту. Пластинчастий перліт (20..35 HV) значно інтенсивніше зношує ріжучий інструмент, так як він має велику абразивну здатність в силу пилкоподібного характеру поверхні, що трется з гострими карбїдними кромками. Аустенїтні сталі з незначним вмістом карбїдів мають слабку стиральну здатність. Важко обробляються сталі мартенситного класу з високим вмістом легуючих складових. Рїжучий інструмент особливо інтенсивно зношується елементами, що утворюють тверді карбїди (VC, MoC; WC, TiC) [5].

При обробці чавуну графіт відіграє роль внутрішнього мастила, зменшуючи тенденції до утворення наросту. Але наявність твердих фосфористих сполук і особливо цементиту дуже збільшує стиральну здатність чавуну [5].

Контактні поверхні інструменту можуть також дряпатися частинками наросту, що періодично руйнується, твердість якого значно (в 2-3 рази) перевершує твердість матеріалу, з якого він утворений [5].

Абразивне зношування посилюється при різанні хїмічноактивних середовищах (наприклад, у чотирьохлористому вуглеці), що послаблюють опірність контактних поверхонь інструменту дряпання. Абразивна дія оброблюваного матеріалу стає тим сильнішим, чим менше відношення  $HVi/HVm$ . Внаслідок цього абразивне зношування помітніше проявляється при роботі інструментами з вуглецевих і швидкорїзальних сталей (65-70 HV), ніж при роботі твердосплавними інструментами, оскільки їхня твердість значно вища (130-140 HV) [5].

Цей вид зносу може грати вирішальну роль при обробці заготовок з різко вираженими абразивними властивостями (чавунне лиття, силумін, зварні шви, поковки зі штампувальною кіркою та ін.). Абразивному зносу піддаються в основному ріжучі інструменти, які працюють при відносно низьких швидкостях і температурах різання (протяжки, мїтчики, плашки тощо) [5].

**Адгезійно-втомне зношування (адгезійний знос).** Під адгезійним зносом інструменту розуміється відрив дрібних частинок, що утримуються силами адгезії

(«схоплювання», холодного зварювання). інструментального матеріалу в процесі його переміщення щодо оброблюваного матеріалу. Сприятливі для адгезії умови на контактних поверхнях інструменту створюються внаслідок високих тисків та утворення ювенільних (хімічно чистих) поверхонь. Напруги, що виникають при одноразовому розриві адгезійного зв'язку, як правило, недостатні для руйнування мікрооб'єму інструментального матеріалу. Тому руйнування переважно виникають в окремих зонах, де вже є значна кількість тріщин втоми, що з'являються в результаті циклічних навантажень при створенні і руйнування адгезійних містків зварювання. Таким чином, відрив частинок інструментального матеріалу силою адгезії є всього лише заключним етапом руйнування, що відбувається тоді, коли міцність зв'язку частинок з основою знижується внаслідок виникнення та розвитку втомних явищ у поверхневому шарі інструментального матеріалу [5].

Адгезійно-втомний знос частинок ріжучого інструменту може відбуватися або шляхом відриву, або пластичного зрізу, і відповідно механізм зносу має або крихку, або пластичну природу [5].

Маса інструментального матеріалу, що видаляється з контактних поверхонь інструменту на одиницю шляху різання, залежить від міцності та твердості оброблюваного матеріалу. За інших рівних умов, ніж менше відношення твердостей  $HVi/HVm$ , тим інтенсивніше зношування інструмент [5].

Адгезійне зношування інструменту можна зменшити, застосовуючи рідини, що створюють на контактних поверхнях «захисні» плівки (окисні, масляні та ін.), які суттєво зменшують сили адгезії та перешкоджають схоплюванню оброблюваного та інструментального матеріалів [5].

**Окисне зношування.** Гіпотеза окисного зношування ґрунтується на відомому факті корозії твердих сплавів при нагріванні їх у середовищі кисню та при незмінності властивостей поверхневих шарів сплавів при нагріванні в інертних газах (аргоні, азоті, гелії) [5].

**Дифузійне зношування.** При температурах різання вище 800...850 °С зношування інструменту може відбуватися переважно в результаті дифузійного розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному [5].

Інтенсивному дифузійному розчиненню матеріалів інструменту та оброблюваної деталі при різанні сприяють такі фактори [5]:

- високі температури, що перевищують температуру початку хімічної взаємодії твердого сплаву з матеріалом, що обробляється;
- великі пластичні деформації контактних шарів, що наводять
- до повного контакту поверхонь по всій номінальній поверхні;
- ювенільність поверхонь деталі та частково інструменту.

В результаті дифузійних процесів у поверхневих шарах інструмента відбуваються структурні перетворення, що призводять до окрихчення та знеміцнення робочих поверхонь леза інструменту, які зрізаються та виносяться оброблюваним матеріалом та стружкою. Таким чином, дифузійний знос необхідно розглядати як результат двох процесів: власне дифузійного розчинення та диспергування (подрібнення) та руйнування знеміцнених контактних поверхонь.

Інтенсивність перебігу дифузійних процесів помітно зменшується при застосуванні інструментальних матеріалів або зносостійких покриттів, хімічно інертних по відношенню до матеріалу, що обробляється.

Зношування оплавленням (евтектичне). Такий механізм зношування досить часто проявляється при обробці з високими швидкостями та температурами різання. Наприклад, при обробці сталей інструментом полікристалів кубічного нітриду бору температура різання може досягати значень 1200 °C і вище. Додатковою причиною утворення рідкої фази на контактних поверхнях інструменту є окислення інструментального матеріалу, розм'якшення та плавлення борного ангідриду, наявного у складі кубічного нітриду бору.

Окремим питанням розглядається технології зміцнення поверхні інструментів. Забезпечити високу зносостійкість можна декількома способами. Так в роботі [10] запропоновано спосіб комплексної обробки литого металорізального інструменту, що включає двоступеневу гомогенізуючу обробку в зневуглецюючому середовищі і високотемпературну цементацію, який відрізняється тим, що високотемпературну цементацію здійснюють при температурах, що відповідають фазовому перетворенню фериту приповерхневого шару одночасно в аустеніт та карбід  $M_6C$ , відповідно до діаграми стану Fe-W(Mo)-



С. Перший етап знеуглецюючого відпалу здійснюють при температурі 1030-1060 °С, на другому етапі температуру відпалу підвищують до 1190-1220 °С. Крім того, спосіб відрізняється тим, що для швидкорізальної сталі з підвищеним вмістом вольфраму в межах 9-18 % перед цементацією здійснюють нікелювання.

Запропонована [10] технологія забезпечить підвищення стійкості та опору зношуванню приповерхневих шарів литого ріжучого інструменту зі швидкорізальної сталі.

Термічна обробка в поєднанні з хіміко-термічною обробкою ріжучих інструментів має позитивні наслідки. Так існує спосіб зміцнення металорізального інструмента із швидкорізальних сталей [11], що включає гартування, механічну обробку і відпуск, суміщений з нанесенням зносостійких покриттів у вакуумі, який відрізняється тим, що проводять попередньо лазерну обробку в режимі оплавлення дискретно з площею обробки 75-80 % від загальної площі оброблюваної поверхні з потужністю лазерного випромінювання 105-108 Вт/см<sup>2</sup>. Крім того треба зазначити, що спосіб відрізняється тим, що суміщені операції нанесення покриттів і відпуску виконують при температурах 560-580 °С. Даний метод [11] забезпечує підвищення стійкості інструмента за рахунок покращення комплексу характеристик сталі, яка є підкладкою для тонкого іонно-плазмового покриття, а саме, підвищується теплостійкість і твердість сталі [11].

## Висновки

Проведено критичний аналіз існуючих технік і технологій з підвищення працездатності ріжучого інструменту.

Одним із напрямів вдосконалення інструменту протяжка є зміни в конструкції самої деталі. Винахідники пропонують використовувати протяжку складної конструкції, з різними змінами в порівнянні зі стандартним інструментом.

Дані зміни приведуть до зменшення зусиль різання, а відповідно і до зменшення зношування.

Розглянуто основні види зношування. Їх відмінності, спільні риси, особливості, природа утворення і способи запобігання або зменшення.

Проаналізовані сучасні прогресивна термічна і хіміко-термічна обробка деталі протяжка із швидкорізальної сталі із використанням лазера. Способи забезпечують отримання готового виробу із підвищеними твердістю, міцністю, теплостійкістю і зносостійкістю.

## РОЗДІЛ 3 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ «ПРОТЯЖКА» ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Вибір матеріалу деталі «протяжка»

Асортимент інструментальних матеріалів для виготовлення протяжки є достатньо широким.

Вибір матеріалу для виготовлення протяжки залежить від умов роботи інструменту, тобто від типу оброблюваного матеріалу та умов різання. Таким чином при виборі матеріалу орієнтуються на властивості, які він повинен мати в кінці, зазначені на кресленні (додаток А). В практиці металообробки можуть застосовувати декілька груп матеріалів (рис. 3.1, таблиця 2.1).

Взагалі, на сьогодні в якості матеріалу ріжучого інструменту застосовується п'ять основних груп інструментальних матеріалів: інструментальні сталі (і окрему групу інструментальних сталей становить швидкорізальні сталі), тверді сплави, мінералокераміка, надтверді матеріали та

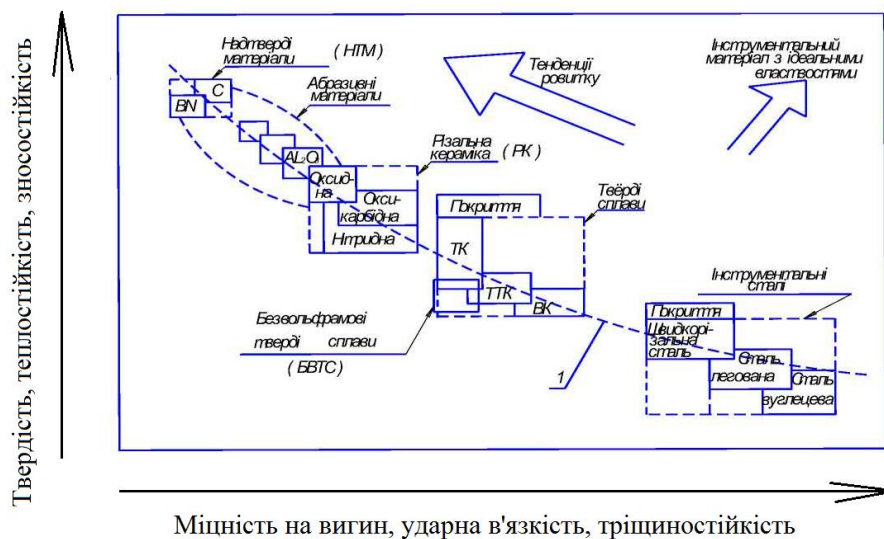


Рисунок 3.1 – Порівняльна залежність властивостей інструментальних матеріалів [12]

Хотілось би наголосити, що під час вибору матеріалу інструменту треба враховувати не лише його властивості за умов кімнатних температур, а і врахувати, що під час експлуатації температура, а відповідно і властивості, суттєво змінюються.

Зокрема твердість різального інструменту зменшується в значній мірі. Але різні матеріали по різному реагують на зміну температури основи (рис.3.2).

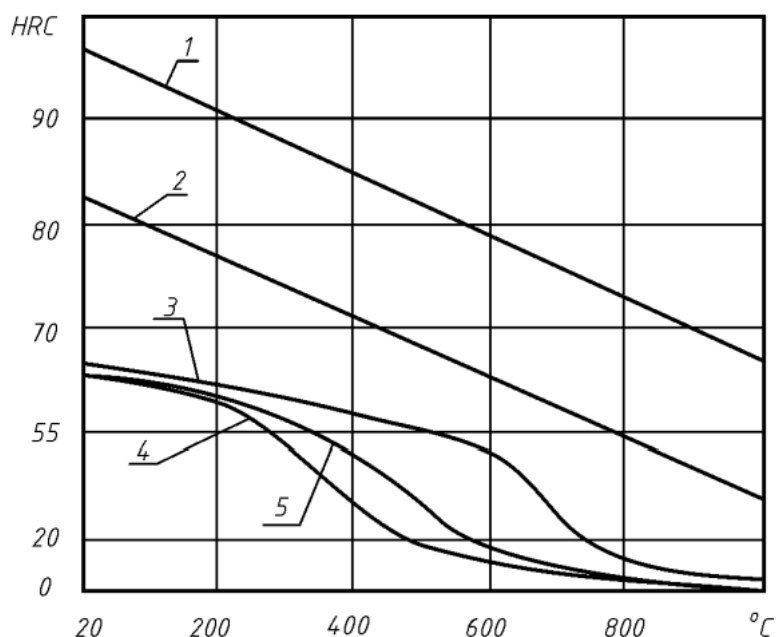


Рисунок 3.2 – Твердість інструментальних матеріалів: 1 – мінералокераміка МЦ-322; 2 – твердий сплав ВК-8; 3 – швидкорізальна сталь Р18; 4 – вуглецева сталь У10; 5 – низьколегована сталь ХВГ [13]

### Інструментальні сталі

Сталі застосовують досить широко для виготовлення корпусних та кріпильно-сполученної частин ріжучих інструментів, а в багатьох випадках і їх ріжучої частини. Якщо інструмент працює при низьких швидкостях різання і не нагрівається понад 200-220 °С, то його можна виготовляти з вуглецевої інструментальної сталі марок У7А, У8А, У10А, У13А та ін. Зазвичай ріжучий інструмент для таких слюсарних робіт, як обпилювання, рубка, нарізання різьблення (тобто напильники, зубила, мітчики, плашки і ін.), виготовляються з цих сталей і після термічної обробки може мати високу твердість (до HRC 64). Хімічний склад і марки інструментальних вуглецевих сталей наведені в ГОСТ 1435-74. Для підвищення тих чи інших властивостей вуглецевих інструментальних сталей в їх склад вводять легуючі елементи. Марка і хімічний склад інструментальних легуваних сталей визначені ГОСТ 5950-73. Теплостійкість їй не перевищує 250-300

°С, що дозволяє дещо збільшити швидкість різання (таблиця 2.1) інструментів з цього матеріалу.

### **Тверді сплави**

Вітчизняна промисловість випускає понад 30 марок твердих сплавів (ГОСТ 3882 - 74), в тому числі близько 20 марок для виготовлення ріжучих частин інструментів. Ці матеріали являють собою сплави карбідів тугоплавких металів з кобальтом, що є зв'язкою. Тверді сплави є основним інструментальним матеріалом, який забезпечує високопродуктивну обробку матеріалів різанням. Застосування твердих сплавів дозволило підвищити швидкість різання в 2-5 разів (у порівнянні з швидкорізальними сталями). У ряді випадків ріжучі пластини сплавів покривають тонким шаром зносостійкого матеріалу (карбіду, нітриду або карбонітриду титану і ін.), що підвищує стійкість пластин в 2-3 рази.

### **Мінералокераміка і кермети**

Пошуки інструментальних матеріалів, що не містять дефіцитні елементи, привели до створення на початку 50-х рр. мінералокерамічних ріжучих пластин на основі окису алюмінію. Цьому сприяло вже створена кераміко-металева композиція - кермети (гетерогенні тіла), що містять одну неметалеву (керамічну) і одну металеву фази. У практиці різання металів застосування керметів поки ще обмежено, так як їх представляють як занадто «швидкісні» для нормальних умов і крихкі для широкого використання. Однак дослідження і отриманий досвід застосування підтверджують можливість успішного впровадження цього матеріалу для виконання ряду операцій обробки різанням. Різання металів керметом має суттєві особливості, вивчення та врахування яких має важливе значення [1].

### **Надтверді матеріали**

Одним із найпоширенішим матеріалом, що відноситься до найтвердих є алмаз [14]. Алмаз широко використовується для різання зі швидкостями 100-200 м/хв, твердість HV10000. Твердість алмазу в 6 разів більше твердості вольфрамових твердих сплавів. Недолік алмазов- низька теплостійкість (800 °С), при підвищених температурах розкладається на графіт. Завдяки високій теплопровідності алмаза при різання відбувається швидка віддача тепла. Перспективні матеріали для виготовлення ріжучої частини інструментів є

полікристалічний кубічний нітрид бору (КНБ). Теплостійкість КНБ вища, ніж у алмазу 1200 °С, твердість HV9000.

### **Швидкорізальні сталі**

Особливу увагу треба приділити окремій групі інструментальних сталей, які називаються швидкорізальними сталями. Швидкорізальні сталі мають вміст вольфраму від 6 до 18%. ГОСТ 19265 - 73 передбачає більш десяти марок цих сталей і їх хімічний склад.

Сьогодні розробляються і використовуються нові марки швидкорізальних сталей з теплостійкістю більше 700 °С, а також марки з малим вмістом вольфраму.

Узагальнюючи аналіз основних типів інструментальних матеріалів, тенденції їх вдосконалення, особливостей і раціональних областей їх застосування можна відзначити, що вдосконалення інструментальних матеріалів пов'язано головним чином із зростанням твердості, теплостійкості і зносостійкості на шкоду таких важливих характеристик матеріалу як міцність при вигині, в'язкість, тріщиностійкість. Окремі спроби розвивати одні властивості без зниження інших повного успіху не мають.

В даний час швидкорізальні сталі є основним інструментальним матеріалом, незважаючи на те, що інструменти з твердого сплаву, кераміки та СТМ забезпечують більш високу продуктивність обробки.

Широке використання швидкорізальних сталей для виготовлення складнопрофільних інструментів визначається поєднанням високих значень твердості (до HRC 68) та теплостійкості (550–650 °С) при високому рівні крихкої міцності та в'язкості, що значно перевищують відповідні значення для твердих сплавів. Ці сталі отримали найбільш широке поширення при виготовленні складнопрофільних ріжучих інструментів і в тих випадках, коли застосування твердосплавного інструмент обмежується його малою міцністю. Крім того, швидко ріжучі сталі мають досить високу технологічність, так як добре обробляються тиском та різанням у відпаленому стані.

У позначенні швидкорізальної сталі літера Р означає, що сталь швидкорізальна, а наступна за буквою цифра – вміст середньої масової частки вольфраму у відсотках. Наступні літери та цифри характеризують відсотковий

вміст інших легуючих елементів. Сучасні швидкорізальні сталі можна розділити на три групи: нормальної, підвищеної та високої теплостійкості. До сталей нормальної теплостійкості відносяться вольфрамова P18 і її заміник із меншим вмістом дефіцитного вольфраму – сталь P6M5 (таблиця. 3.1) [5, 15].

В даній роботі буде запропонована технологія виготовлення та термічної обробки деталі «протяжка». В якості матеріалу виробу пропонуємо використовувати швидкорізальну сталь P6M5. Склад, критичні температури, властивості і характеристики даної сталі проаналізовано і надано в формі таблиць (таблиця 3.1-3.3) [15].

Таблиця 3.1

## Хімічний склад сталі P6M5, % [15]

Назва хімічного елементу										
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	W	V	Co
0.82 - 0.9	до 0.5	до 0.5	до 0.4	до 0.025	до 0.03	3.8 - 4.4	4.8 - 5.3	5.5 - 6.5	1.7 - 2.1	до 0.5

Таблиця 3.2

## Значення критичних точок та твердості сталі P6M5 [15]

Критичні точки, °C			Твердість після	
A <sub>c1</sub>	A <sub>c3</sub> (A <sub>cm</sub> )	A <sub>r1</sub>	відпалу, HB	Гартування та відпуску, HRC
815	880	730	255	64

Таблиця 3.3

## Властивості та область використання сталі P6M5 [15]

Вязкість	Супротив зносу	Шлифуємість	Теплостійкість 59HRC при відпуску протягом 4 годин, °C	Особливі властивості	Призначення
Підвищена	Добрий	Добра	620	Підвищена схильність до зневуглицювання	Для всіх видів ріжучих інструментів для обробки вуглецевих легованих конструкційних сталей. Для виготовлення різьбонарізного інструменту а також інструменту, що працює з ударними навантаженнями

Враховуючі умови роботи протяжки, вимоги, які висуваються до готового виробу і критичний аналіз всіх характеристик і властивостей сталі Р6М5 дає можливість рекомендувати цю сталь в якості матеріалу для виготовлення деталі «протяжка».

В роботі запропоновано використовувати сталь Р6М5, яка повністю задовольняє всім технічним вимогам і застосовується для всіх видів різального інструменту при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей; переважно для виготовлення різьбонарізного інструменту, а також інструменту, що працює з ударними навантаженнями.

На формуванні кінцевих властивостей і характеристик готового виробу, на діапазон задач, які зможе виконувати деталь протяжка впливає хімічний, фазовий склад і структура сталі. Не останній вплив на формування оптимальної, необхідної структури (а відповідно і властивостей і характеристик) сталі перед термічною обробкою і після її реалізації впливають легуючі елементи, які присутні в сталі.

### **3.1.2 Вплив легуючих елементів і домішок**

Відповідно до класифікації, запропонованої Н. Т. Гурцовим, усі хімічні елементи, що містяться у сталі, можна поділити на чотири групи [16]:

1. Постійні домішки. До цієї групи відносять марганець, кремній та алюміній, які застосовуються як розкислювачі; ці елементи наявні у будь-якій добре розкисненій сталі. Вміст цих елементів знаходиться у межах: 0,3-0,7% Mn, 0,2-0,4% Si, 0,01-0,02% Al. До постійних «шкідливих» домішок потрібно віднести сірку, фосфор, миш'як, селен, які потрапляють у сталь із шихтових матеріалів. Вміст цих елементів знаходиться у сталях у межах: 0,01-0,05 % P, 0,01-0,04 % S.

2. Приховані домішки. Це гази – кисень, водень і азот, які наявні у сталі в дуже малих і складно визначуваних кількостях. Їх кількість у сертифікатах сталей не зазначається.

3. Випадкові домішки. Ці домішки потрапляють у сталь із шихтових матеріалів і випадково (з металевого лому).

4. Леговані елементи. Елементи, які спеціально додаються в матеріал у визначеній кількості. Основна мета, яку виконують леговані елементи – це



забезпечити корегування властивостей та характеристик сталі. У сталі спеціально вводиться до 80% елементів Періодичної системи Д. І. Менделєєва.

Проаналізуємо, які саме хімічні елементи присутні в сталі Р6М5 і який саме вплив вони реалізують на цю сталь.

Вплив молібдену (Mo). Молібден – аналог вольфраму. За своєю дією на структуру і властивості швидкорізальних сталей подібний вольфраму. 1% Мо замінює 2% вольфраму; спільно з вольфрамом підвищує теплостійкість, знижує температури фазових перетворень; знижує температуру і зменшує інтервал кристалізації молібденових сталей. Евтектика цієї сталі більш дрібна, зменшує карбідну неоднорідність; збільшує загартованість і зменшує прогартованість; збільшує одночасно міцність і в'язкість більшою мірою, ніж вольфрам, значно затримує  $\gamma \rightarrow \alpha$  перетворення.

Вплив вольфраму (W). Підвищує температуру теплостійкості, зберігає дрібне зерно при нагріванні під гартування, надає малу чутливість до перегріву, збільшує ефект дисперсійного твердіння при відпуску, тобто збільшення призводить до підвищення вторинної твердості. Присутність в сталях вольфраму надає їм хорошу шліфуємість, тобто в кінцевому варіанті забезпечує високу чистоту поверхні. Знижує: теплопровідність, міцність і в'язкість, збільшує карбідну неоднорідність, погіршує схильність до пластичної деформації як в гарячому, так і холодному стані.

Вплив ванадію (V). Присутність в сталях ванадію погіршує шліфуємість, зменшує чутливість до перегріву, зменшує схильність сталей до зростання зерна. Карбід ванадію забезпечує стійкість проти коагуляції карбідів. Підсилює ефект дисперсійного твердіння: значно підвищує вторинну твердість; опір пластичному деформуванню, теплостійкість, впливає на карбідну неоднорідність, незначно посилюючи її при підвищеному вмісті вольфраму, погіршує ковкість сталі, тобто знижує здатність сталі до гарячого пластичного деформування.

Вплив кобальту (Co). Кобальтові швидкорізальні сталі схильні до зневуглецювання, тому що кобальт підсилює зневуглецювання. У сталях кобальт не утворює карбідів, утворює тверді розчини і хімічні сполуки - інтерметаліди  $(Co,Fe)_7W_6$  чи  $(Co,Fe)_7Mo$ ; підсилює карбідно-інтерметалідну неоднорідність,

підвищує намагніченість насичення, абсолютно не впливає на зростання зерна. Введення кобальту підвищує температуру фазових перетворень.

Вплив хрому (Сг). Хром присутній майже повністю в аустеніті; забезпечує підвищену загартованість і прогартованість, підсилює при відпуску твердіння, підвищує вторинну твердість, затримує знеміцнення при експлуатаційному нагріванні, підсилює карбідну неоднорідність, затримує під час  $\gamma \rightarrow \alpha$  - перетворення. Утворює карбіди, які при нагріванні під гартування майже повністю розчиняються в аустеніті.

Для швидкорізальної сталі, легованої зазначеними елементами, що містить багато надлишкових (евтектичних і вторинних) карбідів, характерне також збереження дрібного розміру зерна (бал №11-10) навіть при нагріванні до дуже високих температур.

## **3.2. Методи дослідження**

Необхідні методи дослідження будуть проведені у відповідності до вимог контролю характеристик сталі Р6М5, а саме: контроль твердості після термічної обробки (відпал, гартування, відпуск), карбідна неоднорідність та зерно аустеніту.

### **3.2.1 Металографічний мікроструктурний аналіз**

Метою металографічного аналізу є визначення мікроструктури сталей, оцінка кількості, розмірів, форми і розподілу різних фаз; цей аналіз дозволяє також встановити зв'язок хімічного складу, умов виробництва та обробки сплаву з його мікроструктурою і властивостями. Для проведення металографічного аналізу необхідно приготувати металографічний шліф.

Приготування зразків для металографічного аналізу (мікрошліфів) протікає в декілька обов'язкових послідовних операціях: вирізання зразка в інформативному місці, за розмірами і формою зручною для подальшої пробопідготовки і дослідження на мікроскопі; шліфування; полірування; травлення поверхні хімічно активними реагентами.

В деяких окремих мікроаналізах, наприклад, при вивченні неметалевих включень, досліджують нетравлену поверхню мікрошліфа.

Вирізка зразків. При виробничому контролі зразки відбирають з ділянок, які дають найбільшу інформацію про структурну неоднорідність металу; місця відбору шліфів зазвичай обмовляється ТУ на конкретні види металопродукції. Площа поверхні зразка, використовуваного для приготування шліфів, 1-4 см, висота зразка 10-15 мм. Вирізку зразків проводять, дотримуючись заходів безпеки, щоб не викликати зміни структури через наклепу або нагрівання.

**Шліфування.** Після отримання плоскої поверхні зразок шліфують паперовою шліфувальною шкуркою вручну або на шліфувальних верстатах (рис.3.3). При шліфуванні на верстаті шкурку закріплюють на обертовому колі за допомогою затискних кілець або клейового покриття на зворотному боці шкурки, а зразок притискають до шкірці вручну або встановлюють у затискні пристрої верстата. Шліфування проводять, використовуючи шкурку декількох номерів з послідовно зменшеною зернистістю. Під час шліфування на кожній шкірці слід зберігати один і той же стан зразка, щоб всі ризики на його поверхні були паралельні. При переході до шкірці наступного номеру напрямок шліфування змінюють на  $90^\circ$  і проводять його до повного видалення всіх рисок, що утворилися під час попередньої операції. Необхідно, щоб на кожному ступені шліфування відбувалося повне видалення шару деформованого металу, що утворився на попередньому ступені. Після кожного ступеня шліфування поверхню зразка слід ретельно очищати, щоб уникнути перенесення порівняно великих частинок абразиву на більш дрібнозернистий абразивний матеріал, що використовується при послідовних ступенях шліфування. Для цієї мети зразки зазвичай промивають у воді.



Рисунок 3.3 – Верстат шліфувально-полірувальний Морао 300Е, (фото) [17]

**Полірування.** Полірування служить для видалення дрібних рисок, що залишилися після шліфування, і отримання гладкої дзеркальної поверхні шліфа. Застосовують механічний, електрохімічний і хіміко-механічний методи полірування. Механічне полірування проводять на обертовому колі з натягнутим полірувальним матеріалом (фетр, сукно, драп або спеціальна тканина), на який безперервно або періодично завдають дуже дрібний абразив у вигляді суспензії у воді (бажано дистильованої). Як абразиви застосовують оксид алюмінію, оксид хрому і оксид заліза (крокус).

Процес полірування зазвичай складається з двох або трьох операцій, для грубого полірування використовують абразиви з розміром частинок 1-10 мкм і порівняно тверді тканини без ворсу або з коротким ворсом. Для тонкого полірування застосовують абразиви з розміром частинок менше 1 мкм і м'які ворсисті тканини. Швидкість обертання полірувальних кругів діаметром 200-250 мм при грубому поліруванні зазвичай становить 400-600 об / хв, при тонкому - менше 300 об / хв. Після кожної операції приготування шліфа зразок необхідно ретельно промивати під струменем води, щоб виключити забруднення полірувального кола абразивними частинками і продуктами різання, внесеними з попередніх операцій. Полірування вважають закінченим, коли на поверхні шліфа під мікроскопом не спостерігаються риси або подряпини.

**Виявлення мікроструктури.** Для виявлення мікроструктури на приготованих мікрошліфах зазвичай необхідно використовувати один з методів травлення. Найбільш часто застосовують метод травлення в розчинах кислот, лугів і солей, які викликають вибіркоче розчинення металевих або інших фаз, а також їх граничних ділянок внаслідок відмінності фізико-хімічних властивостей. В результаті на поверхні мікрошліфа утворюється рельєф і при спостереженні під мікроскопом більш сильно розповсюдилися ділянки через тіні або більш низького коефіцієнта відбиття (обумовленого роз'ятрені шорсткою поверхнею) представляються більш темними, а не розповсюджені - більш світлими. Для травлення цим способом на поверхню шліфа крапельницею наносять відповідний реактив. Тривалість травлення встановлюється експериментально.

Дослідження мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі Axio Vert A1 (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Металографічний мікроскоп Axio Vert A1, виробник Carl Zeiss Microscopy GmbH (фото)

### 3.2.2 ДюрOMETричний аналіз

Твердість – здатність матеріалу здійснювати супротив проникненню в його поверхню інородного тіла. Існує поняття макро і мікротвердість, основна різниця в яких полягає в технічних можливостях методів. Після операцій термічної обробки відпал, гартування та відпуск доцільно проводити вимір макротвердості.

#### **Вимірювання твердості по Брінеллю.**

При визначенні твердості методом Брінелля в випробуваний зразок або виріб вдавлюється протягом певного часу металева кулька. Після зняття навантаження на поверхні зразка залишається сферичний відбиток. Число твердості по Брінеллю позначається НВ (рис. 3.5, а). При випробуванні за Брінеллем навантаження зберігається постійним: для кульки діаметром 10 мм – 3000 кгс (30000Н), час витримки під навантаженням – 10 с, число твердості позначається НВ. Діаметр відбитка вимірюється за допомогою лупи.



а



б

Рисунок 3.5 – Твердомір ТШ-2 (а), твердомір ТК-2 (б), (фото)

Визначення твердості загартованих сталей та інших матеріалів, які мають високу твердість  $>450$  НВ проводять методом вдавлювання індентора методом Роквелла, на приладі ТК-2 (рис.3.5, б).

Твердість за Роквелом виражають в умовних одиницях, що характеризують глибину залишкового занурення наконечника (ГОСТ 9013-59). Індентор, стандартне тіло за допомогою якого реалізується вимірювання твердості матеріалів. При вимірюванні твердості методом Роквела в даній роботі використовуємо алмазний конус із кутом біля вершини  $120^\circ \pm 30'$  і радіусом закруглення біля вершини конуса  $0,200 \pm 0,005$  мм при сумарному навантаженні 150 кгс. Числа твердості позначаються HRC.

### 3.2.3 Оцінка карбідної неоднорідності

Визначення балу карбідної неоднорідності проводимо за стандартною методикою, у відповідності до ГОСТ 19265-73.

Основний метод, що при цьому застосовується- це візуальне порівнення зі шкалами. Оцінку карбідної неоднорідності проводять при збільшенні (90-100) крат. Бал карбідної неоднорідності сталі Р6М5 визначають порівнянням з еталонами шкали № 2. Бал карбідної неоднорідності кожного шліфа встановлюється як середньоарифметичне з оцінок п'яти найгірших полів зору.

## Висновки

В роботі проведено критичний аналіз існуючих матеріалів і реалізовано вибір матеріалу для виготовлення деталі «протяжка». Сталь Р6М5 може бути рекомендована для виробництва ріжучого інструменту «протяжка». Даний матеріал задовольняє основним вимогам, що висуваються до готового виробу.

Основними легуючими елементами сталі Р6М5 є вольфрам, молібден, ванадій, хром. Кількість вуглецю 0,8-0,9 % і наявність відповідних легуючих елементів дозволить після коректної термічної обробки сформувати високотверду, міцну, теплостійку структуру інструменту.

Комплексний, всебічний аналіз готового виробу будуть проведені на сучасному обладнанні за стандартними технологіями.

Пробопідготовку зразків для металографічного аналізу проводимо на спеціальному шліфувально-полірувальному верстаті Морао 300Е.

Мікроструктурний аналіз (огляд та фіксація зображення) плануємо проводити на мікроскопі Axio Vert A1 із збільшенням 100-1000 крат.

ДюрOMETричний аналіз проводимо на твердомірах: ТШ-2 та ТК-2. Індентор сталева кулька 10 мм та алмазний конус з кутом  $120^{\circ}$ , загальне навантаження складає 3000 кгс і 150 кгс відповідно.

Визначення балу карбідної неоднорідності реалізуємо у відповідності до 19265-73 методом порівняння структурних зображень, отриманні при збільшенні в 100 крат.

## РОЗДІЛ 4 МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ПРОТЯЖКА»

Технологічний процес – це процес, який пов'язаний з обробкою або переробкою сировини та перетворення її на готову продукцію шляхом виконання механічних, фізичних та хімічних операцій, які змінюють форму і властивість вихідної сировини. Технологічний процес складається з окремих операцій.

Крім окремого технологічного процесу створення певного продукту, формується виробничий процес, який складається із сукупності технологічних. Виробництво характеризується постійними змінами, спрямованими на вдосконалення його технологічних процесів. В продовж технологічного процесу призначають матеріал та інструменти, визначають найдоцільнішу технологію виготовлення деталі [18].

Технологічний процес виготовлення деталі «протяжка» складається з декількох послідовних етапів. В свою чергу кожен етап виготовлення складається з декількох операцій (таблиця 4.1).

Особливу увагу при реалізації технології виготовлення будь-яких виробів із швидкорізальної сталі треба приділити процесу кування. За структурою після відпалу швидкорізальні сталі відносяться до ледебуритного класу. В литому вигляді вони мають ледебуритну евтектику, яка усувається гарячою деформацією шляхом подрібнення первинних карбідів.

Кування сталі – відповідальна операція. При недостатній проковці виникає карбідна ліквация - місцеве скупчення карбідів у вигляді ділянок незруйнованої евтектики. Карбідна ліквация знижує стійкість інструменту і збільшує його крихкість. Евтектика – великий дефект у сталях: вона надає сталі крихкості і погіршує її різальні властивості. Особливо цей дефект проявляється в перерізі діаметром більше ніж 100 мм. Але в результаті гарячої пластичної деформації сітка евтектики дробиться і цим досягається більш рівномірний розподіл карбідів по перерізу заготовки [19, 20].

Сутність кожного етапу зазначена у таблиці 4.1.



Таблиця 4.1

## Маршрутна технологія виготовлення деталі «протяжка»

№ операції	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовка вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо видобувний комплекс	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертор	Мульди, ковші
		2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу		Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку		Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугової печі	Електродугова піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсових матеріалів, рафінування сталі	Електродугова піч	Завальні машини
		6	Безперервне розливання	Установка безперервного лиття	-

Продовження таблиці 4.1

Етап 2. Отримання заготовки					
2.1	Отримання поковки протяжки	1	Розрізання прокату на мірні заготовки	Фрезерний верстат	Дискова пила
		2	Нагрівання заготовки під гарячу обробку тиском	Кувальна дільниця	Камерна піч
2.2	Обробка тиском	1	Гаряче штампування	Горизонтально-кувальна машина	Штамп
2.3	Контроль	1	Контроль розмірів і шорсткості поверхні	Дільниця контролю	Вимірювальний інструмент
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Зняття внутрішніх напружень	1	Ізотермічний відпал	Термічна дільниця	Піч типу СНО-7.10.5/10
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, НРВ
Етап 4. Чорнова механічна обробка					
4.1	Центрувально-підрізна операція	1	Обробки центрових отворів	Центрувально-підрізний напівавтомат	-
4.2	Чорнова токарна обробка	1	Чорнове точіння контурів деталі поверхні. Нарізання ріжучих зубів протяжки.	Токарний багаторіздевий копіювальний напівавтомат	Набір різців
4.3	Чистова обробка	1	Чистове точіння зубів протяжки та контурів.	Токарний верстат з ЧПУ	Набір різців
Етап 5. Термічна обробка					
5.1	Термічна операція	1	Гартування	Термічна дільниця	Соляна піч ванна типу СВС 3.6.5.5/1300 (3 шт.).
		2	Відпуск низькотемпературний, трикратний		Шахтна піч типу СНО-6.12/7
5.2	Контроль	1	Вимірювання твердості, аналіз мікроструктури, карбідної неоднорідності після термічної обробки	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, металографічний мікроскоп

## Продовження таблиці 4.1

Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Шліфувальна операція	1	Шліфування поверхні деталі у відповідності до креслення, надання деталі необхідної шорсткості	Внутрішньо-шліфувальний напівавтомат	Круг шліфувальний
		2	Шліфування та заточення зубів по передній поверхні	Заточний станок	-
		3	Шліфування та заточення зубів по задній поверхні		
6.2	Контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Штангенциркуль, зразки шорсткості, скоба, фаскомір

## **Висновки**

В розділі надані основні визначення та ознаки технологічного процесу виготовлення виробу.

Запропонована сучасна технологічна карта виготовлення деталі «протяжка».

Основні етапи, призначення, місце для реалізації, інструменти, обладнання зазначені в формі таблиці.

Стисла інформація, щодо реалізації технологічного процесу виготовлення деталі «протяжка» із сталі Р6М5 представлена поетапно: отримання сталі на металургійних виробництвах, отримання заготовки деталі, попередня термічна обробка заготовки, чорнова механічна обробка, термічна обробка, чистова механічна обробка та контроль властивостей і характеристик готової деталі «протяжка».

## РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Термічна обробка деталі «протяжка»

Термічна обробка виробу реалізується з метою отримання потрібних, зазначених в технічній документації і необхідній замовнику і виробнику експлуатаційних властивостей і характеристик. З використанням термічної обробки ми можемо змінити структуру і фазовий склад матеріалу основи і це реалізується шляхом нагрівання і охолодження в строго заданих температур і тривалості процесів.

Перетворення при нагріві сталі під гартування пов'язані із аустенізацією і перш за все з переходом в твердий розчин легувальних елементів із карбідної фази [19]. Для протяжки вихідна заготовка є прокат. Прокатка використовується не тільки для зміни розмірів заготовок, але і для зменшення карбідної неоднорідності швидкорізальної сталі. Зі збільшенням ступеня деформації сталі знижується карбідна неоднорідність. Чим нижче температура закінчення прокату, тим більший вплив пластичної деформації на структуру швидкорізальної сталі.

Відпал швидкорізальних сталей проводиться для: зниження твердості до НВ ~ 207-300 після гарячої пластичної деформації; для поліпшення оброблюваності різанням і для підготовки структури до гартування.

Для даної деталі застосовує ізотермічний відпал: завантаження в піч, нагріву до 500-600 °С; нагрів до 840-860°С (витримка 2 години); охолодження до 720-750 °С зі швидкістю 30-40 °С/год (витримка 4 години); охолодження до 600-650 °С зі швидкістю 40-50 °С/год охолодження до 20 °С на спокійному повітрі.

У відпаленому стані фазовий склад сталей являє собою легований сорбітоподібний перліт, ферит і карбіди (рис. 5.1). У фериті розчинена більша частина хрому, а велика частина вольфраму (молібдену) і ванадію міститься в карбідах [19].

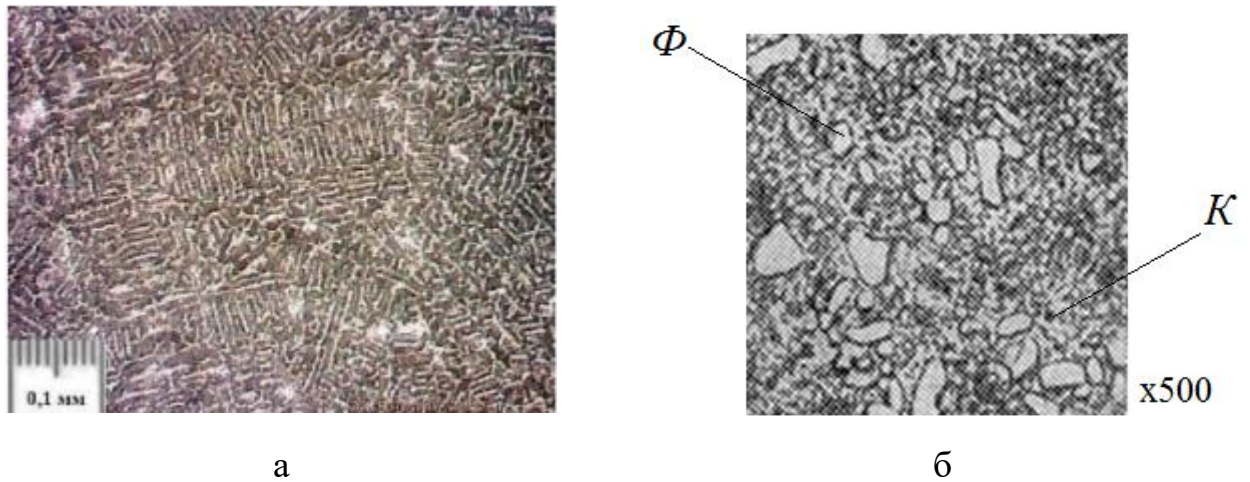


Рисунок 5.1 – Структура сталі Р6М5 після: литва (а) ізотермічного відпалу

Основним карбідом швидкорізальних сталей є  $Me_6C$ , в якому розчинений ванадій. В структурі сталі Р6М5 після ізотермічного відпалу присутні карбідні фази типу  $Me_6C+MeC$  в кількості 20-22 %. Крім попередньо зазначеного типу карбідної фази карбідоутворюючі леговані елементи, які присутні в сталі Р6М5 сформовані карбіди типу  $Me_{23}C_6$ . Кількість останніх в 10 раз менша ніж  $Me_6C+MeC$ . Незначна кількість карбідів  $Me_{23}C_6$  становить 2-3 %.

Металографічно в структурі деформованої та відпаленої сталі можна розрізнити два види карбідів: великі, відокремлені первинні карбіди, дрібніші - вторинні і дуже невеликі - евтектоїдні карбіди.

Метою кінцевою термічної обробки є отримати необхідну теплостійкість, зносостійкість, твердість і міцність. Теплостійкість швидкорізальних сталей забезпечується гартуванням від температур, близьких до температур їх плавлення. Однак навіть при такому високому нагріванні частина карбідів (в основному  $Me_6C$ ) з високою концентрацією вольфраму залишається нерозчиненими і зберігають дрібнозернистий аустеніт.

Зміцнюючою, основною операцією термічної обробки деталі протяжка є гартування. Після гартування на мартенсит в будь-яких металах і сплавах ростуть міцнісні характеристики, падають характеристики пластичності і в'язкості.

Загартованість – це властивість сталей підвищувати свою твердість при гартуванні. Загартованість характеризується максимальною твердістю на поверхні після гартуванні, тобто загартовування виражається в одиницях HRC (рис.5.2).

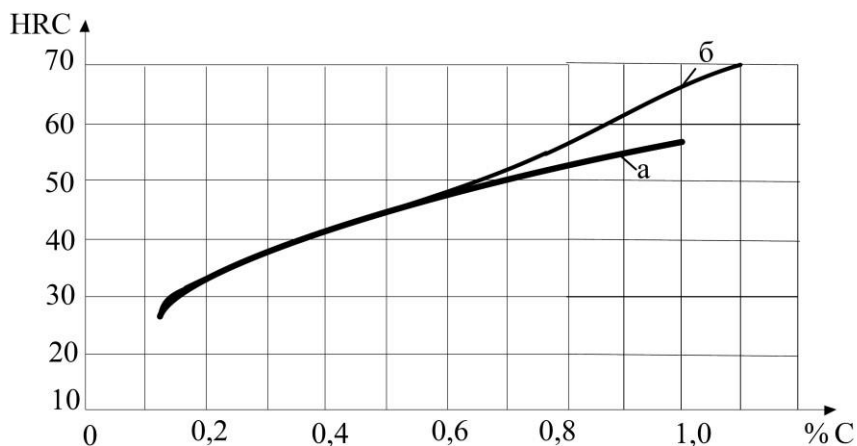


Рисунок 5.2 – Вплив вмісту вуглецю на загартованість сталі:  
а – твердість загартованої сталі; б – твердість мартенситу [21]

Підвищення твердості, щільності при утворення твердого розчину впровадження визначається ступенем перекрученості кристалічної решітки. Спотворення викликають напруження, які є причиною підвищення твердості. Впровадження атомів вуглецю і азоту також є перешкодами для руху дислокацій, що збільшує міцнісні характеристики.

Крім того, в процесі охолодження з залишкового аустеніту вуглець утворює скупчення (сегрегації) на деформованій решітці. Ці скупчення можуть вирости до таких розмірів, що відбудеться виділення дисперсного метастабільного карбїду Fe C. І сегрегації і утворення карбїдів – додаткові перешкоди для руху дислокацій, фактори, що зміцнюють сталь так як при утворенні пересичених твердих розчинів впровадження практично всі дислокації можуть бути заблоковані, то пластичність різко падає.

Необхідно враховувати, що швидкорізальні сталі з молібденом більш чутливі до перегрівання, внаслідок цього інтервал гартувальних температур для них найбільш вузький.

Для нагрівання під гартування ріжучого інструменту застосовують розплавлені солі. Широке застосування соляних ванн при термічній обробці для нагріву інструменту пояснюється тим, що розплавлені солі, в порівнянні з іншими нагрівальними середовищами (газ, електричний нагрів), володіє значними перевагами, а саме:

- 1) більш швидке і рівномірне нагрівання інструменту, а отже, менше значення внутрішнє напруження, що виникає при нагріванні;
- 2) більш висока продуктивність обладнання;
- 3) меншою ймовірністю зростання зерна при нагріванні сталі, в зв'язку з меншим часом нагріву;
- 4) можливість місцевого нагріву інструменту;
- 5) гартування робочої або хвостової частин;
- 6) зменшення викривлення стрижневого інструменту - можливість його нагрівання в вертикальному положенні;
- 7) можливість запобігання окислення і знеуглецювання.

Р6М5 має низьку теплопровідність, в зв'язку з цим при нагріванні під гартування виникає великий перепад температур по перетину виробів, що викликає високі напруги інструментів при нагріванні, а отже, і тріщини при нагріванні і охолодженні. Для запобігання цьому необхідно забезпечувати рівномірність прогріву по перетину виробу, використовуючи ступінчастий нагрів до температури гартування:

- 1) до 650 °С - 700 °С, застосовується для наскрізного прогріву деталі, підігрів для підсушування і скорочення часу остаточного нагріву з метою значного зменшення знеуглецювання.
- 2) від 800 °С до 850 °С, застосовується для зменшення внутрішньої напруги і запобігання деформації інструменту в процесі гартування.
- 3) остаточний нагрів в інтервалі температур від 850 °С до 1230 °С.

В одній печі практично неможливо здійснення такого ступінчастого нагріву, тому на практиці розділяють нагрів на три послідовні етапи, які реалізують в трьох послідовно розташованих печах.

Застосовуємо комплект печей з наступним складом солей:

- в печі №1 СВС-2,3/13 для першого ступеня нагріву до 650 °С Склад солі 50% KCl + 50% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;
- в печі №2 СВС-2,3/13 для другого ступеня нагріву від 650 °С до 850 °С склад солі 30% KCl + 70% BaCl<sub>2</sub>;



- в печі №3 СВС-2,3/13 для третього ступеня нагріву від 850 °С до 1230 °С склад солі 100% BaCl<sub>2</sub>.

Для надання сталі теплостійкості інструмент піддають гартуванню та багатократному відпуску [19]. Температура гартування Р6М5 становить 1200–1230 °С. Охолоджуваюче середовище- масло.

Високі температури гартування (1230 °С) необхідні для більш повного розчинення вторинних карбідів та отримання під час нагрівання аустеніту, високолегованого хромом, вольфрамом, молібденом. Це забезпечує отримання після гартування мартенситу, що володіє високою стійкістю проти відпуску, тобто теплостійкістю.

Структура швидкорізальної сталі Р6М5 після гартування складається з мартенситу, карбідів (розсіяні глобули) та аустеніту залишкового (25 %) (рис. 5.3). Твердість загартованої швидкорізальної сталі Р6М5 досягає HRC 60-62.

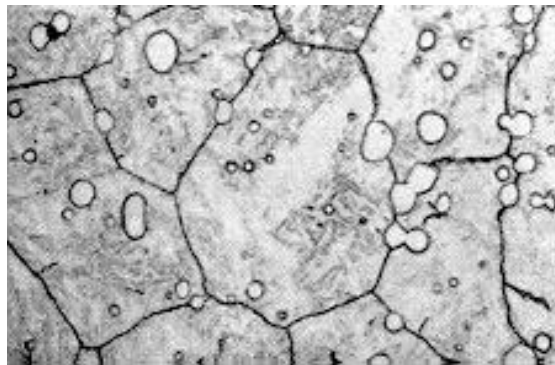


Рисунок 5.3 – Структура сталі Р6М5 після гартування, х 500

Крім високоміцного мартенситу в структурі сталі Р6М5 після гартування залишається так званий залишковий (неперетворений на мартенсит) аустеніт. Кількість залишкового аустеніту в структурі швидкорізальної сталі Р6М5 після гартування від оптимальної температури досягає 20-25 %. Така велика кількість залишкового аустеніту пояснюється тим, що при високому нагріванні збільшується вміст вуглецю і легуючі елементи в аустеніті, сильно знижують мартенситну точку. Чим нижче мартенситна точка, тим більше кількість залишкового аустеніту при кімнатній температурі.

Недогрів сталі різко знижує її теплостійкість, що проявляється в зниженні твердості при відпуску. Перегрів визначається за величиною аустенітного зерна

після гартування, яке для більшості інструментів повинно бути в межах 10-12 балів [20]. Зростання зерна крупніше 10-го бала викликає зниження в'язкості і міцності сталі і тому для більшості інструментів неприпустимий.

Після гартування реалізуємо наступний тип термічної обробки- відпуск. Відпуск, по-перше, знижує гартівні напруги. По-друге, одним з найважливіших властивостей є те, що відпуск викликає дисперсійне твердіння. В результаті часткового розпаду твердого розчину і виділення дисперсних частинок зміцнюючих фаз (карбідів і інтерметалідів) підвищується твердість інструменту на 2-3 HRC, тобто твердість збільшується до максимальних значень, досяжних для даної марки сталі.

забезпечення можливості перетворення залишкового аустеніту в мартенсит. Залишкового аустеніту значно знижує загальну твердість, зносостійкість і безліч інших їх характеристик. Залишковий аустеніт погіршує ріжучі властивості. Встановлено, що при нагріванні до температур нижче 560 °С ніяких істотних змін не відбувається. Якщо ж нагрівати при відпуску до 560 °С, то при подальшому охолодженні частина залишкового аустеніту перетворюється в мартенсит.

Залишковий аустеніт можна перетворити на мартенсит двома способами: перший – обробити загартовані вироби холодом, другий – виконати відповідний триразовий відпуск згідно з температурним режимом відпуску для даної сталі. Після триразового відпуску залишається 2,0–3,0 % залишкового аустеніту, наявність якого робить сталь малодеформованою.

Виділення дисперсних твердих частинок аустенітно-мартенситного перетворення за відпуску забезпечує підвищений опір малої пластичної деформації – зниження в'язкості. Однак за рахунок дрібного зерна і майже повну відсутність залишкового аустеніту, оптимальну кількість карбідів і рівномірний їх розподіл швидкорізальні сталі після відпуску мають достатню в'язкість.

Відпуск проводять з витримкою 1 години з подальшим охолодженням на повітрі. Для усунення внутрішніх напруг після гартування деталі піддають відпуску в шахтних печах. При цьому найбільший інтервал між гартуванням і відпуском допускається не більше 4 годин.

Структура сталі Р6М5 триразового відпуску: мартенсит відпуску, аустеніт залишковий та карбіди (рис. 5.4).

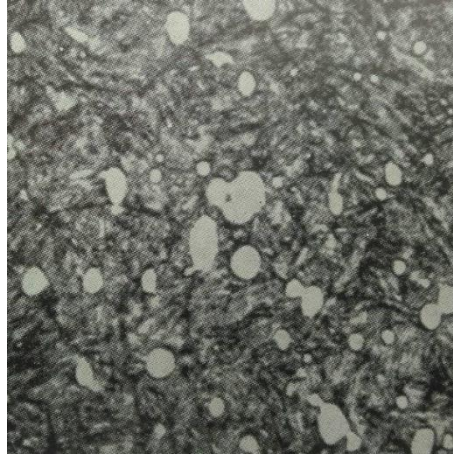


Рисунок 5.4 – Структура сталі Р6М5 після відпуску, х 500

Графік термічної обробки протяжки із сталі Р6М5 наведено у ДОДАТКУ Б.

Визначення балу карбідної неоднорідності є відповідальним етапом, який надасть інформацію про якість готового виробу. Карбідна неоднорідність представляє собою ділянки ледебуритної евтектика, яка зберіглася в прокатному металі [20]. Перш за все вона визначається металургійним переділом, а саме: кристалізацією зливка і його гарячою пластичною деформацією. Сильна карбідна неоднорідність значно зменшує міцність, в'язкість і стійкість інструменту. Зменшення карбідної неоднорідності досягається реалізацією комплексу заходів при металургійному переділі. Радикальним способом усунення карбідної неоднорідності є виготовлення інструменту методом порошкової металургії [20].

Порівняння спеціально вирізаного і підготовленого зразка зі сталі Р6М5. Вирізка даного зразка відбувалась за певними вимогами, певним чином з певними розмірами (залежно від розмірів деталі). Так для заготовки протяжки діаметром 85 мм треба вирізати прямокутний зразок зазначених на рис. 5.5.

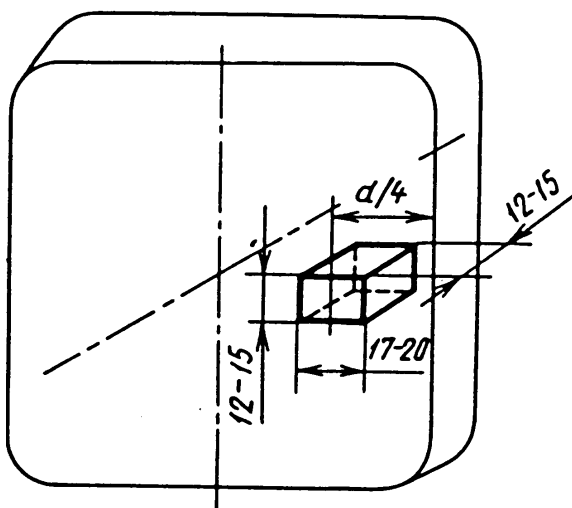
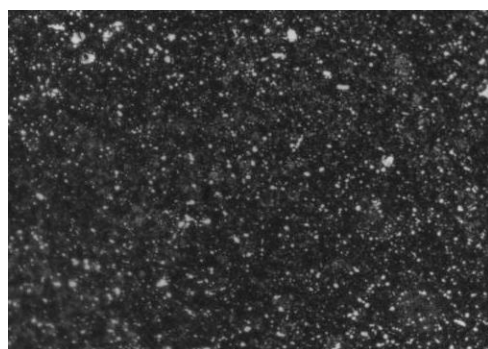
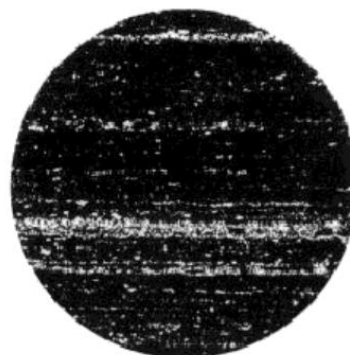


Рисунок 5.5 – Схема вирізки, форма та розміри зразка для визначення карбідної неоднорідності

Наступним етапом було реалізовано порівняльний аналіз структури зі шкалами ГОСТ 19265-73 (рис. 5.6).



а



б

Рисунок 5.6 – Визначення карбідної неоднорідності сталі Р6М5: структура зразка сталі, x100 (а), еталон ГОСТ 19265-73 (б)

Експериментально встановлено, що строчковість відсутня. У відповідності до ГОСТ 19265-73 визначено, що структура сталі Р6М5 відповідає карбідній неоднорідності балом меншим ніж один. ГОСТ 19265-73 надає наступний опис даного виду неоднорідності карбідів: тонка полосчата структура з короткими розірваними полосами. За вимогами до значень карбідної неоднорідності сталі Р6М5 за вимогами його значення не повинно перевищувати балл 6-7, тобто структура сталі Р6М5 відповідає висунутим до неї вимогам.

## 5.2 Вибір необхідного обладнання для реалізації технологічного процесу отримання деталі «протяжка»

Устаткування термічного цеху повинно бути розташоване так, щоб був вільний доступ до всіх печей, мийних машин, гартувальних баків і щоб між ними був вільний простір ні чим не захищений. Особливо важливо, щоб були досить широкі і вільні проходи біля дверей печей і на шляху до гартівних баків.

Для проведення ізотермічного відпалу вибираємо камерну піч типу СНО-8.16.5/11 (таблиця 5.1, рис. 5.7)

Таблиця 5.1

Технічні характеристики камерної печі СНО-8.16.5/11 [22]

Розміри робочого простору, ширина×довжина×висота, в м	0,8×1,6×0,5
Параметри електроживлення	3×380 В, 50 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	1100
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1100
Матеріал спіральних нагрівачів	X23Ю5Т
Стабільність регулювання температури в сталому тепловому режимі, без садки, °С	±3
Тип терморегулятора / Тип термопари	ТРП-08-ТП (за замовчуванням) / ТХА
Розміри ширина довжина висота, в м	2,2×2,3×2.7
Продуктивність кг/рік	200
Потужність, кВт	81

Завантаження деталі проводимо на піддоні за допомогою крану або кран-балки.



Рисунок 5.7 – Піч для проведення ізотермічного відпалу, камерна піч СНО-8.16.5/11 [22]

Для проведення підігріву під гартування та гартування вибираємо соляні печі СВС3,5.8.4/8,5 та СВС3,6.5.5/13 (таблиця 5.2, 5.3, рис.5.8).

Таблиця 5.2

Технічні характеристика соляної печі СВС-3,5.8.4/8,5 з вмістом  
22%NaCl<sub>2</sub>+78%BaCl<sub>2</sub> [22]

Розміри робочого простору, ширина×довжина×висота, в м	0,35×0,8×0,4
Параметри електроживлення	3×380 В, 100 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	850
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...850
Потужність, кВт	100
Стабільність регулювання температури в сталому тепловому режимі, без садки, °С	±3
Продуктивність, кг/ч	200
Розміри ширина довжина висота, в м	1.7×1.9×2.6



Рисунок 5.8 – Піч для проведення нагріву під гартування, соляна піч  
CVC-3,5.8.4/8,5 [22]

Таблиця 5.3

Технічні характеристики соляної печі CVC - 3,6.5.5/13 з вмістом 100% BaCl<sub>2</sub>

Розміри робочого простору, ширина×довжина×висота, м	0,36×0,5×0,5
Параметри електроживлення	3×380 В, 100 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	1300
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1300
Потужність, кВт	150
Середовище в робочому просторі	Повітря
Стабільність регулювання температури в сталому тепловому режимі, без садки, °С	±3
Продуктивність, кг/ч	250
Розміри ширина довжина висота, в м	1.8×3×2.2

Для проведення відпуску вибираємо шахтну піч СШО - 6.30/7 (рис.5.9) [22]



Рисунок 5.9 – Піч для проведення відпуску, шахтна піч СШО - 6.30/7 [22]

Таблиця 5.4

Технічні характеристики шахтної печі СШО6.30/7 [22]

Розміри робочого простору, діаметр <sup>x</sup> висота, в м	0,6 ×3
Параметри електроживлення	3×380 В, 100 Гц
Максимальна температура в робочому просторі, °С	700
Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...700
Потужність , кВт	100
Середовище в робочому просторі	Повітря
Стабільність регулювання температури в сталому тепловому режимі, без садки, °С	±3
Продуктивність , кг/ч	200
Розміри ширина довжина висота, в м	2.8×2.8×6
Садка ,т	1,5

В якості обладнання для охолодження встановлюємо масляний бак (таблиця 5.5), деталі які переносимо кран-балкою або краном з печі для гартування в кошику.



Таблиця 5.5

## Технічні характеристики охолоджувального баку (масло)

Розміри робочого простору, л	350
Маса, кг	500
Габаритні розміри, м	1,5x0,6x1,5

Об'єм баку визначається з розрахунку на 1 кг загартованих деталей при температурі гартування 800-1200 °С.

Бак стаціонарний, для охолодження масла встановлюємо змійовик, охолоджувана водою або можлива циркуляція масла за допомогою маслоохолоджувача. В конструкції баку передбачений бортовий відсмоктувач парів та отвору для переливання при переповненні баку.

В якості обладнання для очищення заготовок від солей, а також масла після гартування використовуємо мийно-сушильну машину (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6

## Технічні характеристики мийно-сушильної машини (ММА)

Продуктивність плавно регульована, шт / год	2500 - 6000
Ємність флаконів, мл	10, 15, 25, 50, 100, 250, 500
Габарити машини, м НхВхL	3x1,2x 1,6
Маса, кг	не більше 800
Матеріал виготовлення - н / ж сталь	304 AISI.
Матеріал повітряних і водяних гребінок	316L AISI.

Для очищення деталей від масла та солей після гартування встановлюємо мийний бак з гарячим содовим розчином. Мийний бак має змійовик для підігріву розчинів. Для переміщення розчинів в бак подається стиснене повітря.

## Висновки

Розглянуто сучасну технологію термічної обробки інструменту протяжка, виготовленої із сталі Р6М5.

Запропонована термічна обробка деталі протяжка включає декілька етапів: ізотермічний відпал при температурі 840-880 °С, охолодження з піччю; гартування при температурі 1200-1230 °С, охолодження з піччю; відпуск триразовий низькотемпературний при температурі 540-560 °С, охолодження на спокійному повітрі.

Встановлено, що твердість сталі Р6М5 після ізотермічного відпалу 255 НВ. Структура сталі Р6М5 після гартування: мартенсит гартування + карбіди нерозчинені ( $M_6C + MC$ , 7-15 %) + аустеніт залишковий (20-30%). Твердість 60- 62 НRC. Після триразового відпуску твердість збільшується і становить 62-65 НRC.

В розділі було обрано основне та допоміжне обладнання для термічної обробки: печі для відпалу, гартування, відпуску, гартівний бак, мийна машина.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані основні види ріжучого інструменту протяжка. Принципи роботи, складові і призначення.
2. Проаналізовані основні причини виходу з ладу інструменту: руйнування і зношування.
3. Визначені основні умови роботи деталі «протяжка» працює в складних умовах: значні навантаження, підвищені температури. Сформульовані вимоги, що висуваються до матеріалу деталі: високі твердість, міцність, теплопровідність і збереження цих властивостей і характеристик за високих температур. Твердість робочої частини HRC 62—65.
4. Для виготовлення протяжки застосовують наступні матеріали: сталь вуглецева (типу У8 – У12); сталь легована інструментальна (9ХС, ХВГ); швидкорізальна сталь (Р6М5, Р18, Р9, Р9В5). Крім сталей застосовують і тверді сплави.
5. Проаналізовані існуючі методи підвищення працездатності протяжки: вдосконалення конструкції, термічна обробка, хіміко-термічна обробка.
6. Запропонована сталь Р6М5, як матеріал для виготовлення протяжки. Основні легуючі елементи: вольфрам, молібден, ванадій, хром.
7. Комплексний аналіз сталі Р6М5 після рекомендованої термічної обробки включає наступні методи: мікроструктурний аналіз, дюрOMETричний аналіз, визначення карбідної неоднорідності.
8. Запропонована сучасна маршрутна технологія виготовлення деталі «протяжка».
9. Термообробка протяжки із сталі Р6М5 включає: відпал ізотермічний; гартування та трикратний відпуск.
10. Встановлено, що твердість сталі Р6М5 після ізотермічного відпалу 255 НВ. Структура сталі Р6М5 після гартування: мартенсит гартування + карбіди нерозчинені ( $M_6C + MC$ , 7-15 %) + аустеніт залишковий (20-30%). Твердість 60- 62 HRC. Після триразового відпуску твердість збільшується і становить 62-65 HRC.
11. Обрано основне та допоміжне обладнання для термічної обробки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Протяжка, Протягання, протягання для обробки отворів, протяжки для обробки зовнішніх поверхонь, протягання для круглих отворів, протягання для шпонок і пазів, протягання для шліцьових отворів, для фасонних отворів, комбінованого протягування. Лабораторні прилади, вимірювальний інструмент | ООО НПФ Стандарт-М. URL: <http://standart-m.com.ua/metallorazhucshij-instrument/protyazhki?mova=uk> (дата звернення: 11.06.2024).

2. Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. Спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – с. 147

3. Швець С. В. Металорізальні інструменти : навчальний посібник / С. В. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 272 с.

4. Протяжки – Ріанто. Матеріали і інструменти. Ріанто. Матеріали і інструменти. URL: <https://www.rianto.com.ua/instrument/metalloraz/protyagki/> (дата звернення: 11.06.2024).

5. Доля В. Н. Основы теории резания материалов : консп. лекций / В. Н. Доля, О. В. Доля. – Харьков : Изд-во «Підручник НТУ «ХПІ», 2016. – 160 с.

6. Протяжка для швидкісної обробки : пат. 26876 Україна : B23D 43/00. № u200705823 ; заявл. 25.05.2007 ; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16. 3 с.

7 Комбінована протяжка : пат. 45379 Україна : B23D 43/00. № u200905080 ; заявл. 22.05.2009 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21. 2 с.

8 Протяжка для механічної обробки з високою точністю внутрішніх канавок : пат. 70399 Іспанія : B23D 43/00. № 2002075701 ; заявл. 30.08.2001 ; опубл. 15.10.2004, Бюл. № 10. 3 с.

9 Мітчик-протяжка : пат. 107215 Україна : B23G 5/06. № u201511741 ; заявл. 27.11.2015 ; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. 2 с.

10 Спосіб комплексної обробки литого металорізального інструменту : пат. 71705 Україна : C21D 9/22. № u201115570 ; заявл. 29.12.2011 ; опубл. 25.07.2012, Бюл. № 14. 4 с.

11 Спосіб зміцнення металорізального інструмента зі швидкорізальних сталей : пат. 99744 Україна : С23С 14/32. № u201412996 ; заявл. 04.12.2014 ; опубл. 25.06.2015, Бюл. № 12. 1 с.

12. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

13. Проектування різальних інструментів. Різці токарні (Друга редакція) [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / В. І. Солодкий – Електронні текстові дані. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 121 с.

14. Інструменти з надтвердих матеріалів / А. О. Шепелєв // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2011. – Режим доступу : <https://esu.com.ua/article-12376>. – Останнє поновлення : 1 січ. 2023.

15. Прутки и полосы из быстрорежущей стали: ГОСТ 19265-73. – [Чинний від 1975-01-01]. – М. : ИПК издательство стандартов, 1991. 22 с. – (Государственный стандарт ССР).

16. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави/ Руденко Л.Ф., Говорун Т.П. Навчальний посібник . - Суми : Сумський державний університет, 2012. - 171 с.

17. Верстат шліфувально-полірувальний МоРАО 300Е 20588 LHTI Co. Ltd » [labtime.ua](http://labtime.ua). LabTime. URL: <https://labtime.ua/uk/stanok-shlifoval-no-poliroval-nyu-moraо-300e-p20588> (дата звернення: 18.06.2024).

18. Коберник, О. М. Технології : 10 кл. : підручник / О. М. Коберник, А. І. Терещук, О. Г. Гервас [та ін.] — К. : Літера ЛТД, 2010. — 160 с. : іл.

19. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Мікроструктура і властивості термічно оброблених швидкорізальних сталей» із дисципліни «Металознавство та основи термічної обробки» / укладачі: Н. А. Харченко, Т. В. Лоскутова, А. І. Дегула. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 30 с.

20. Гольдштейн М. И. Специальные стали. Москва, 1985. 408 с.

21. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи на тему «Визначення прогартуваності легованих сталей» із дисципліни «Леговані сталі і сплави» / укладачі: О. П. Гапонова, Н. А. Харченко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 23 с.

22. ТОВ "Бортек". ТОВ "Бортек". URL: <http://bortek.ua> (дата звернення: 23.06.2024).



ДОДАТОК Б

