

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
Кафедра «Фізичне матеріалознавство»

Пояснювальна записка

до дипломної роботи магістра

на тему: «Вибір раціонального легування порошкової холодноштампової сталі з підвищеним опором зминанню в умовах циклічного навантаження»

Виконав: студент 2 курсу, групи ІФ-222м

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

Освітня програма (спеціалізація)

«Прикладне матеріалознавство»

ВЛАДИКІН Д.І.

Керівник: доцент, к.т.н ГРАБОВСЬКИЙ В.Я.

Рецензент _____

Запоріжжя

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
Освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІФ

_____ .
_____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ВЛАДИКІН Дмитро Ігорович

1. Тема проекту (роботи) «Вибір раціонального легування порошкової холодноштампової сталі з підвищеним опором зминанню в умовах циклічного навантаження»
керівник проекту (роботи) ГРАБОВСЬКИЙ В.Я., к.т.н, доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від _____
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 4 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи): Хімічні склади та характеристики порошкових холодноштампових сталей, технічна література.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): штампові сталі для високонавантажених інструментів холодного деформування металів; результати досліджень дослідницьких штампових сталей для високонавантажених інструментів холодного деформування, отриманих за технологією порошкової металургії; економічна частина; охорона праці.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) хімічний склад та технологія отримання сталей; мікроструктури дослідницьких сталей; вплив температури гартування на твердість та стійкість проти перегріву сталей; вторинне твердіння сталей після різних температур аустенітизації; механічні властивості дослідницьких сталей після зміцнювальної термічної обробки; вплив вмісту кисню на властивості досліджених сталей.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3	ГРАБОВСЬКИЙ В.Я., доцент		
4	НЕСТЕРОВ О. В., доцент, завідувач кафедри охорони праці і навколишнього середовища		
5	КРУГЛІКОВА В. В., доцент		
нормо-контроль	ФАСОЛЬ Є. О., старший викладач		

7. Дата видачі завдання «25» вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Штампові сталі для високонавантажених інструментів холодного деформування металів (літературний огляд)	02.10.2023	
2	Матеріали та методики досліджень	09.10.2023	
3	Вплив термічної обробки на характеристики структури та твердість сталей	16.10.2023	
4	Вплив легування на механічні властивості сталей	23.10.2023	
5	Вплив на властивості вмісту кисню в сталях	02.11.2023	
	Рекомендації та висновки за результатами роботи	08.11.2023	
6	Економічна частина	15.11.2023	
7	Охорона праці	22.11.2023	
8	Кінцеве погодження з керівником та завершення оформлення дипломної роботи	29.11.2023	
	Проходження нормоконтролю	04.12.2023	
9	Виправлення недоліків, отримання рецензії та подання роботи до захисту	11.12.2023	

Студент(ка) _____ Владикін Д.І.
(підпис)

Керівник проекту (роботи) _____ Грабовський В.Я.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 77 с., 17 табл., 10 рис., 14 джерел.

ДОСЛІДНИЦЬКІ ШТАМПОВІ СТАЛІ, ХОЛОДНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ПОРОШКОВА МЕТАЛУРГІЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, СТРУКТУРА, ДИСПЕРСІЙНЕ ТВЕРДІННЯ, МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ВПЛИВ ВМІСТУ КИСНЮ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Об'єкт дослідження – порошкові холодноштамповані сталі з підвищеним рівнем властивостей.

Мета роботи – визначення характеристик дослідницьких холодноштампових сталей, отриманих методом порошкової металургії, для вибору раціонального легування.

Досліджено мікроструктуру, встановлена висока стійкість проти перегріву та визначено зменшення кількості залишкового аустеніту після відпуску порівняно з загартованим станом досліджуваних сталей. Досліджена схильність сталей до дисперсійного твердіння, що відбувається найбільше при зростанні температури гартування та відпуску в області температур 520-540 °С. Визначені характеристики твердості, випробування на ударну в'язкість, згин, та стискання для вибору сталі з найбільш сприятливим комплексом таких показників. Показано, що збільшення вмісту кисню в порошковій сталі різко знижує їх експлуатаційні характеристики як матеріалів для важко навантаженого інструменту холодного об'ємного деформування. Розглянуто правила техніки безпеки та охорони оточуючого середовища. Розраховано економічну ефективність інноваційного проекту

ЗМІСТ

С.	
7	Вступ.....
	...
8	1 Штампові сталі для високонавантажених інструментів холодного деформування металів.....
8	1.1 Умови роботи інструментів для холодного деформування металів та вимоги до сталей для їх виготовлення.....
11	1.2 Класифікація штампових сталей для інструментів холодного деформування металів.....
13	1.3 Характеристики штампових сталей для холодного деформування з високими показниками зносостійкості та опору зминанню.....
13	1.3.1 Роль легувальних елементів та їх вибір.....
19	1.3.2 Термічна обробка та її вплив на властивості.....
23	1.3.3 Шляхи підвищення експлуатаційних характеристик.....
25	1.4 Доцільність та особливості використання технології порошкової металургії для інструментальних сталей.....
28	1.5 Мета та постановка задачі дипломної роботи.....

2 Матеріали та методики досліджень.....	30
2.1 Хімічний склад та технологія отримання сталей.....	30
2.2 Виготовлення зразків та визначення механічних властивостей.....	31
2.3 Термічна обробка.....	34
2.4 Методики досліджень.....	35
3 Результати досліджень дослідницьких штампових сталей для високонавантажених інструментів холодного деформування, отриманих за технологією порошкової металургії.....	36
3.1 Вибір легування дослідницьких сталей.....	36
3.2 Вплив термічної обробки на характеристики структури та твердість сталей.....	37
3.3 Вплив легування на механічні властивості сталей.....	47
3.4 Вплив на властивості вмісту кисню в сталях.....	49
3.5 Обговорення отриманих результатів та рекомендації.....	50
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	52
4.1 Аналіз потенційних небезпек.....	52
	54

4.2	Заходи	забезпечення	без	
пеки.....				
4.3	Заходи	забезпечення	виробничої	санітарії та гігієни 61
праці.....				63
4.4	Заходи	з	пожежної	без
пеки.....				
4.5	Заходи	безпеки	в	надзвичайних ситуа 64
ціях.....				
5	Економічна час-			65
тина.....				
5.1	Тенденція	розвитку	світового	ринку техноло 65
гій.....				
5.2	Послідовний			ана 66
ліз.....				
Висно-				75
вки.....				
Перелік джерел поси-				76
лань.....				

ВСТУП

Рішення завдання підвищення ефективності та інтенсифікації виробничих процесів, а також економії використання металів, в значній мірі залежить від рівня розвитку і досконалості технології і обладнання для обробки металів тиском, різні способи якої широко застосовуються в машинобудуванні та металообробці при виготовленні до 80% різних деталей. Так як техніко-економічні показники штампування і якість готових виробів в значній мірі визначаються надійністю і довговічністю штампового оснащення, то проблема підвищення експлуатаційної стійкості штамсів, в тому числі і штамсів холодного деформування металу, є актуальною науковою і практичною задачею.

Вартість інструментального оснащення, наприклад вирубних штамсів холодного деформування, становить 20...30% від собівартості заготовок і пов'язана зі зміною заготовки, серійністю випуску, маркою вихідного матеріалу та інше. Вихід з ладу інструментального оснащення в результаті поломки становить ~ 5%, зносу ~ 35%, невдалого підбору сталі для штамсів ~ 5%, від недотримання режиму термообробки ~ 5% [1]. Вказане робить актуальним виконання робіт по підвищенню працездатності таких інструментів, що в значній мірі забезпечується відповідним вибором матеріалів для їх виготовлення.

Сталі для штамсів холодного деформування мають високу зносостійкість (високу поверхневу твердість), достатню міцність у поєднанні зі задовільною в'язкістю, оскільки вони працюють в умовах ударних навантажень. Підвищити термін служби деталей штампового оснащення дозволяють вибір більш ефективного легування, удосконалення технології виготовлення, використання різних методів зміцнення зношуваних поверхонь. З урахуванням викладеного метою дипломної роботи є визначення характеристик дослідницьких холодноштампових сталей, отриманих методом порошкової металургії, для вибору раціонального легування.

1 ШТАМПОВІ СТАЛІ ДЛЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛІВ

1.1 Умови роботи інструментів для холодного деформування металів та вимоги до сталей для їх виготовлення

Як свідчить аналіз даних заводської практики, в найбільш важких умовах експлуатуються інструменти при рубанні (вирубванні, пробивці) висококремністих електротехнічних сталей зі спеціальними покриттями та конструкційних матеріалів підвищеної міцності (особливо, при використанні заготовок товщиною понад 3-5 мм), холодному пресуванні деталей з великими одиничними ступенями деформації, висадженню металовиробів з легованих сталей.

Сталі для штампів і іншого різноманітного інструменту холодної обробки тиском повинні мати високу міцність, твердість, зносостійкість, задовільну або підвищену при роботі з ударами в'язкість. Для великих швидкостей деформування, що викликають розігрів робочої крайки інструменту до 450 °С, сталям повинна бути властива достатня теплостійкість. Для штампів із складною геометрією важливо забезпечити мінімальні об'ємні зміни при гартуванні [2].

Основні операції холодного деформування класифіковані наступним чином [1]: різання – відрізання, вирубка, пробивання, просічка; гнуття – скручування; витягування – обтягування, протягування; формовка – рельєфна формовка, розтягування, відбортовка, чеканка.

Найбільш важко навантаженим являється операції об'ємної штамповки (пресування, висадка) і різка (вирубка, пробивка). В наслідок великих питомих навантажень, складно напруженого стану і високих температур розігріву, робочих частин інструментів в процесі роботи стійкість останніх в більшості випадків являється незадовільною. Більшість інших операцій холодної штамповки не викликають особливих ускладнень пов'язаних із стійкістю, тому умови роботи штампових інструментів розглянуті в основному стосовно об'ємної штамповки та

різки. Умови роботи інструментів при цих операціях досить повно можна охарактеризувати величиною питомих навантажень, характером навантажень, і температурою розігріву їх робочих частин [1].

Питомі навантаження зумовлюються властивостями матеріалів штампування, швидкістю і ступенем деформації заготовок, видом мастила, конструкцією деталі та інше. Величина питомих навантажень при пресуванні досягає 2200-2500 МПа і більше [1, 3].

За характером навантаження холодне деформування можна розділити на два основних види: плавне – штамповка на гідравлічних і механічних (для об'ємного пресування) пресах зі швидкістю навантаження 0,1-0,4 м/с і ударне – штамповка та на пресах зі швидкістю навантаження 0,5–1,0 м/с, на холодно висадочних автоматах і швидкохідних прес-автоматах зі швидкістю 0,5-1,5 м/с [4].

При цьому температурні умови роботи інструментів змінюються в широкому діапазоні в залежності від характеристик штампувального матеріалу і технологічних особливостей процесу. Так, в найбільшому ступені розігріваються інструменти при холодній об'ємній штамповці (і в зокрема, при таких операціях, як пресування, висадка) і окремих операціях пробивки (рубки) [1].

Температурні умови роботи штампових інструментів при двосторонньому холодному пресуванні поршневих пальців автомобілів (матеріал сталь 15) були вивчені в роботі [4] і результати наведені в табл. 1.1.

Експерименти по вимірюванню температур при пробивці – вирубці на прес-автоматах. дозволили встановити, що температура являється функцією швидкості деформування і товщини матеріалу що рубається і при встановлених умовах може досягати 500-530 °С. Вимірювання температури в тілі витяжної матриці показало, що вона суттєво залежить від темпу роботи пресу і величини зазору і може досягати 180 °С; одночасно було встановлено також, що різкий перепад відбувається в шарі товщиною близько 0,3 мм.

Таблиця 1.1 – Температура поверхні інструмента в залежності від продуктивності автомату і виду охолодження [4]

Температура, °С	Охолоджуюче середовище	Продуктивність , шт/хв	Подача
160-180	Мастило (без тиску)	15-18	Ручна
250-265	Без охолодження	15-18	Ручна
120-130	Мастило (під тиском)	28	Автоматична
280-300	Без охолодження	28	Автоматична

В тому випадку, коли температура розігріву інструментів перевищує температуру відпуску, відбувається втрата міцності штампової сталі, що супроводжується зниженням твердості робочих частин і призводить до передчасного виходу інструментів з ладу. Таким чином, наявність значного розігріву робочих частин інструментів для холодного деформування висуває таку важливу потребу до властивостей його матеріалу, як теплостійкість, тобто здатність зберігати необхідний рівень властивостей при нагріві 450-550 °С.

Розглянемо основні причини виходу з ладу штампових інструментів, при чому головна увага знаходиться на інструментах, стійкість яких в тій чи іншій мірі стримує широке впровадження нових процесів обробки тиском та використаних прогресивних конструкційних матеріалів.

Величина і характер розподілу виникаючих в інструментах (в процесі деформування) напруг залежать головним чином від конструкційних особливостей інструментів і значень питомих навантажень.

Найбільш проста конфігурація характерна для інструментів холодного і гарячого пресування (видавлювання), а також деяких типів пуансонів, виштовхувачів і прошивників для гарячого об'ємного деформування. Такі інструменти мають, як правило, несиметричну форму і характеризуються (при якісному виготовленні) наявністю порівняно невеликої кількості місць, здатних

служити ефективними концентраторами напружень. Деталі типу пуансонів, виштовхувачів, прошивників та інших, працюють в умовах стиснення (одноосного або нерівномірного всебічного) і поздовжнього вигину. Як було відзначено, величина питомих тисків в випадку холодного пресування досягає 2000-2500 МПа.

Дослідження, проведені за допомогою методу фотопружності, показали, що поле напружень, в правильно сконструйованих і ретельно виготовлених пуансонах, характеризується порівняльною однорідністю. Однак і в інструментах простої конфігурації є окремі ділянки (торці, місця сполучення робочих і посадочних поверхонь та інші), в яких локальні напруження можуть перевищувати значення середніх питомих тисків. Перерозподіл діючих на інструмент навантажень і виникнення локальних напружень характерні і для штампів, використовуваних при гарячому об'ємному деформуванні: з цієї причини величина напружень в окремих ділянках гравюри може значно перевершувати середній питомий тиск, що сприяє передчасному виходу інструментів з ладу.

Виникнення в процесі штампування значних температурних градієнтів по перетину інструментів, а також циклічний характер теплового впливу в поєднанні з циклічно змінними напруженнями (що викликають розвиток пластичної деформації в мікрооб'ємах) сприяє значному зростанню швидкості дифузійних процесів і суттєво прискорює теплове знеміцнення, а відповідно і вихід інструментів з ладу.

1.2 Класифікація штампових сталей для інструментів холодного деформування металів

За характером легування та поєднання основних властивостей, що набувають після остаточної термічної обробки, сталі для холодного деформування умовно можна розбити на три групи [1]:

- сталі підвищеної і високої зносостійкості;
- сталі з дисперсійним твердінням з високим опором зминанню;
- високоміцні сталі з підвищеною ударною в'язкістю.

Сталі підвищеної і високої зносостійкості, містять до 6% хрому (Х6ВФ, 9Х5ВФ, Х6Ф4М) та до 12% хрому (Х12, Х12Ф1, Х12ВМ). Сталі, які містять знижений відсоток хрому, використовують для виготовлення матриць і пуансонів холодного пресування, слюсарних та деревообробних інструментів. Сталі, що містять до 12% хрому, застосовуються для виготовлення штампів холодного листового штампування, чеканочного і холодновисадкового інструменту, армуючих пластин і волочильних філь'єр.

По своїй природі ці сталі близькі до швидкорізальних: за структурою відпалу відносяться до ледебуритного класу, за структурою нормалізації – до мартенситного класу. Їх висока зносостійкість значною мірою обумовлена великою кількістю карбідів Cr_7C_3 , що зберігаються в структурі після гартування. Водночас, велика кількість карбідної фази (15-17% у сталей Х12М, Х12Ф1 і біля 30% у сталі Х12) приводить до підвищеної карбідної неоднорідності, яка викликає зниження міцності й в'язкості. Найбільш сильно цей недолік виражений в сталі Х12. З цієї причини частіше застосовують сталі Х12М і Х12Ф1. Структура і властивості високохромистих сталей у великому ступені залежать від температури гартування, тому що з її підвищенням збільшується розчинність карбідів і концентрація вуглецю й хрому в аустеніті, викликаючи різке зниження інтервалу температур мартенситного перетворення.

До сталей з дисперсійним твердінням з високим опором зминанню відносяться сталі марок ЭП761, ДИ-37, ДИ-57 та інші. Вміст хрому і вуглецю у таких сталей знижено, але вони додатково легуються вольфрамом, молібденом, ванадієм і кремнієм, а тому мають високу міцність, твердість і теплостійкість. Використовуються для виготовлення важконавантаженого інструменту листової штамповки і холодного об'ємного штампування.

До високоміцних сталей з підвищеною ударною в'язкістю відносяться штампіві сталі марок 7ХГ2ВМ, 7ХГНМ, 6Х6В3МС, 6Х3ФС та інші. Сталі

відрізняються підвищеною прогартовуваністю і підвищеною в'язкістю в умовах динамічних і ударних навантажень. Використовуються при виготовленні холодновисадкового інструменту, відрізних ножів листових ножиць, калібрувальних і чеканочних штампів. Підвищення в'язкості сталей досягається зниженням вмісту вуглецю (до 0,4-0,6%) і збільшенням температури відпуску.

1.3 Характеристики штампових сталей для холодного деформування з високими показниками зносостійкості та опору зминанню

1.3.1 Роль легувальних елементів та їх вибір

Розглянемо основні легувальні елементи, які використовують для сталей холодного деформування з високими показниками зносостійкості та опору зминанню [1, 4].

Хром сприяє одержанню високої і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромистих сталей 0–100 °С. Розчинність у фериті цього елемента необмежена. Розчинність в аустеніті становить 12,8%. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивну силу фериту. Знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Хром утворює карбіди Cr_{23}C_6 і Cr_4C_3 . Також цей елемент знижує схильність зерна до росту, дуже збільшує прогартовуваність. Хром зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку і збільшує кількість залишкового аустеніту.

Хром позитивно впливає на ряд характеристик штампових сталей (прогартовуваність, схильність до вторинного твердіння, теплостійкість тощо). У міру підвищення його концентрації в твердому розчині суттєво зростає стійкість аустеніту як в перлитній, так і в проміжній областях, якісно змінюється вигляд С-подібних кривих (рис. 1.1). Хром підвищує стійкість карбідів проти розчинення при нагріванні і сприятливо впливає на чутливість до перегріву сталей що містять незначні кількості вольфраму і молібдену. У комплексно легованих сплавах хром

внаслідок підвищення фазового наклепу при гартуванні та безпосередній участі у формуванні зміцнювальної фази підсилює ефект вторинного твердіння.

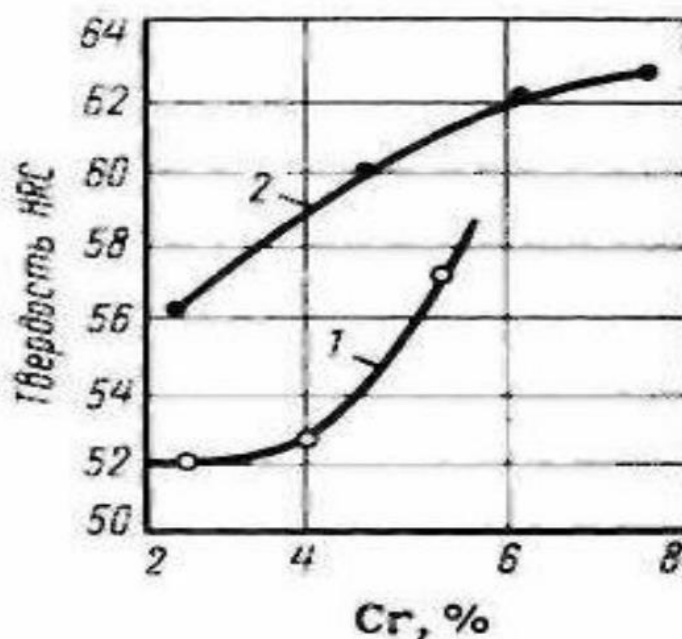


Рисунок 1.1 – Вплив хрому на стійкість переохолодженого аустеніту інструментальних сталей із середнім ($\approx 0,5\%$) (1) і підвищеним (1-1,5%) (2) вмістом вуглецю [1]

Хром сприяє збереженню високого опору пластичній деформації при нагріванні до 400-500 °С. Межі міцності і текучості складають 80% від їх значень при 20 °С. Крім того, хром підвищує стійкість проти окислення при нагріванні до 600-650 °С і проти роз'їдаючої дії ряду середовищ.

Слід зазначити, що збільшення вмісту хрому вище 5% поряд з посиленням карбідної неоднорідності викликає також підвищення чутливості до перегріву. Цей недолік притаманний сталям, легованих 1-2% W (Mo) і 0,3-0,8% V. Також хром навіть при відносно невисоких концентраціях володіє значною схильністю до дендритних ліквіації, більшою, ніж вольфрам, марганець і кремній.

Молібден. Введення в хромові сталі Mo (0,15-0,45%) підвищує прогартуваність, знижує поріг холодноламкості до 20-120 °С. Молібден підвищує статичну, динамічну міцність від втоми сталі. Розчинність у

фериті – 5% при 20 °С і 38% при 1450 °С, в аустеніті – 3,5%. Вплив молібдену на властивості фериту підвищує міцність і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність, не змінює пластичності. Молібден утворює фазу впровадження Mo_2C і карбідне сполуку $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$. Перешкоджає росту зерна аустеніту. Зменшує критичну швидкість гартування, дає дві зони найменшої стійкості аустеніту 350 °С і 600 °С. Знижує мартенситну точку і дещо збільшує кількість залишкового аустеніту. Молібден зменшує схильність сталі до відпускнуї крихкості. Збільшує червоностійкість і підвищує схильність до знеуглецювання сталі. Підвищує температуру росту зерна аустеніту. Молібден зменшує схильність до відпускнуї крихкості другого роду.

У сталях з молібденом дисперсійне твердіння настає при більш низьких температурах відпуску, дещо сильніше підвищується вторинна твердість. Виділяється карбід, що має більшу здатність до коагуляції, внаслідок чого молібденова сталь в порівнянні з вольфрамовою має кращу в'язкість, але дещо меншу теплостійкість. Також молібден пригнічує схильність до відпускнуї крихкості внаслідок сприятливого впливу на стан меж зерен. Вміст молібдену, незважаючи на його ефективний вплив, встановлюють не вище 2,5-2,8%, оскільки він посилює знеуглецювання.

Ванадій розчиняється в деякій кількості в аустеніті при нагріванні для гартування і виділяється, збагачуючи розчин ванадієм і вуглецем, а при подальшому відпуску стійкі проти коагуляції карбіди ванадію виділяються з мартенситу, додатково підвищуючи вторинну твердість (за рахунок дисперсійного тверднення) і червоностійкість сталі, посилюючи дисперсійне твердіння. Вплив ванадію на максимальний рівень вторинної твердості був розглянутий в роботі [1] і отримані результати наведені на рис. 1.2. При підвищенні вмісту ванадію понад 1,5-1,8% у структурі утворюється карбід VC, що має більшу твердість, ніж складний карбід вольфраму. Кількість карбідів VC зростає зі збільшенням вмісту ванадію, що покращує зносостійкість, але погіршує шліфувальність.

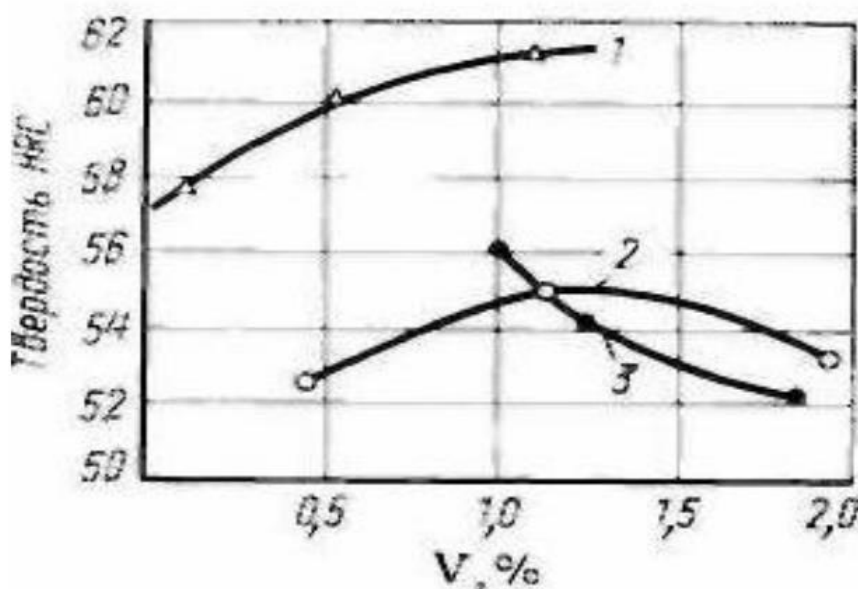


Рисунок 1.2 – Вплив ванадію на максимальний рівень вторинної твердості, що досягається в сталях типу Х4В2М1Ф (1), 4Х4ВМФС (2) і 5Х3ВЗМФС (3) [1]

Ванадій затримує ріст зерна аустеніту при нагріванні для гартування, якщо він присутній у вигляді карбіду VC і сталь містить менше 12% W. Володіючи високою твердістю, надлишкові карбіди сильно збільшують зносостійкість сталі при робочому нагріванні і гарячу твердість, а при температурі нагріву для гартування уповільнюють зростання зерна.

Ванадій чинить ефективний вплив на процеси збиральної рекристалізації та істотно зменшує чутливість штампових сталей до перегріву. На механічні властивості ванадій чинить неоднозначний вплив. Зменшуючи чутливість до перегріву, при вмісті до 1% він може підвищувати міцність і пластичність високовуглецевих і середньовуглецевих ($\sim 0,4\%$ C) штампових сталей. Збільшення вмісту ванадію з 0,4% до 0,8% підсилює дисперсійне твердіння і покращує теплостійкість, але знижує в'язкість.

Ванадій, також як і хром, має сильно виражену схильність до дендритної ліквідації, але на відміну від нього ванадій сприятливо впливає на дисперсність і характер розподілу первинних карбідів у високовуглецевих сталях. При введенні до складу сталей 3-4% V спостерігається значне погіршення шліфувальності (через присутність дуже твердого карбіду VC), що обмежує їх широке

застосування. Іншим недоліком є знижена окислостійкість при відпалі і гарячої пластичної деформації.

Марганець вводять в сталі як технологічну добавку для підвищення міри їх розкислювання і усунення шкідливого впливу сірки, а так саме марганець утворює із залізом твердий розчин і дещо підвищує твердість і міцність сталі, трохи зменшуючи її пластичність. Марганець вважається технологічною домішкою, якщо його зміст, не перевищує 0,8%. Марганець як технологічна домішка істотного впливу на властивості сталі не має.

Кремній також вводять в сталь для розкислювання. Вміст кремнію як технологічної домішки зазвичай не перевищує 0,37%. У сталях, призначених для зварних конструкцій, вміст кремнію не повинен перевищувати 0,12-0,25%.

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноламкості. У ледебуритних сталях негативна роль утворених сульфідів менше через присутність в структурі значно більшого числа надлишкових карбідів, які можуть погіршувати ці властивості. Крім того, сульфіди при низьких температурах початку затвердіння цих сталей часто служать центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів.

Фосфор також є шкідливою домішкою. При вмісті фосфору більше ніж 0,02-0,03 % помітно знижується в'язкість і міцність, посилюються спотворення в решітці мартенситу.

В табл. 1.2 та табл. 1.3 наведено вміст легувальних елементів та механічні властивості деяких розповсюджених штампових сталей для холодного деформування. Вони розбиті на три групи за характером легування та поєднання основних властивостей, що набувають після остаточної термічної обробки.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад штампових сталей для холодного деформування [2]

Марка сталі	Масова частка елементів, %					
	C	Cr	W	Mo	V	інші
сталі підвищеної (високої) зносостійкості						
X12	2-2,2	11,5-13	-	-	-	-
X12M	1,45-1,65	11-12,5	-	0,4-0,6	0,15-0,3	-
X12Φ1	1,25-1,45	11-12,5	-	-	0,7-0,9	-
X12BM	2-2,2	11-12,5	0,5-0,8	0,6-0,9	0,15-0,3	-
X12Φ4M	2-2,2	12-13,5	-	0,5-0,8	3,4-4,0	-
X6BΦ	1,05-1,15	5,5-6,5	1,1-1,5	-	0,5-0,8	-
8X6HΦT	0,8-0,9	5,0-6,0	-	-	0,3-0,5	0,9-1,3Ni 0,05-0,15Ti
сталі з дисперсійним твердінням з високим опором зминанню						
8X4B2C2MΦ	0,8-0,9	4,2-4,9	1,8-2,2	0,8-1,1	1,0-1,4	1,6-2,0Si
8X4B3M3Φ2	0,75-0,85	3,5-4,5	2,5-3,2	2,5-3,0	1,9-2,5	-
11X4B2C2 Φ3M	1,05-1,15	3,5-4,2	2,0-2,7	0,3-0,5	2,3-2,8	1,4-1,8Si
X5B2C4Φ 2HM	0,98-1,13	4,2-5,0	1,8-2,3	0,8-1,1	0,9-2,4	0,3-0,6Ni 3,35-3,95Si
високоміцні сталі з підвищеною ударною в'язкістю						
7XГ2BM	0,68-0,76	1,5-1,8	0,5-0,9	0,5-0,8	0,1-0,25	-
7XГНМ	0,67-0,74	1,2-1,5	-	0,5-0,8	0,1-0,2	0,8-1,2Ni
6X6B3MΦC	0,5-0,6	5,5-6,5	2,5-3,2	0,6-0,9	0,5-0,8	0,6-0,9Si
6X4M2ΦC	0,57-0,65	3,8-4,4	-	2-2,4	0,6-0,9	0,6-0,9Si

1.3.2 Термічна обробка та її вплив на властивості

Основині вимоги до термообробки штампових сталей вважається їх здатність до загартовуваності, в результаті чого сталі набувають необхідні твердість, механічну міцність при різних видах навантаження – на стиск, на розтяг, на вигин, а також здатність протистояти абразивному стиранню, динамічним і ударним навантаженням.

Умовою для підвищення загартовуваності штампових сталей є запобігання перлитного і бейнітного перетворень. Для цього встановлюють певну мінімальну швидкість гартування, яка залежить від кількості вуглецю в штампових сталей, а також ступеня легування аустеніту. Для низьколегованих марок штампових сталей критична швидкість гартування не менше 250-400 град/с, для середньолегованих 35-40 град/с, а для високохромистих і високолегованих – 10-15 град/с.

Для надання службових характеристик холодношампові сталі піддають зміцнювальній термічній обробці, що полягає в гартуванні від температур 1000-1200 °С та відпуску. Температури відпуску сталей без дисперсійного твердіння складає біля 200 °С, а з дисперсійним твердінням – біля 530 °С. Режимми термічної обробки та відповідні механічні властивості найбільш розповсюджених холодношампових сталей наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Термічна обробка та механічні властивості штампових сталей для холодного деформування [2]

Марка сталі	Режим термічного оброблення		HRC після відпуску	σ _t , МПа	КСУ МДж/м ²
	T _{заг} , °C	T _{відп} , °C			
сталі підвищеної (високої) зносостійкості					
X12	950-970	170-200	61-63	2150	0,15-0,20
X12М	1000-1020	170-200	61-63	2600	0,40-0,50
X12Φ1	1020-1050	170-200	61-63	2500	0,25-0,30
X12ВМ	970-1000	170-180	63-64	2400	0,20-0,30
X12Φ4М	1070-1090	170-190	62-64	2700	0,30-0,40
X6ВФ	980-1000	150-170	61-63	3000	0,70-0,80
8Х6НФТ	950-1000	280-300	57-59	-	-
сталі з дисперсійним твердінням з високим опором зминанню					
8Х4В2С2МФ	1060-1080	530*	63-64	3750	0,40-0,60
8Х4В3М3Φ2	1150-1170	530*	62-63	3300	0,25-0,30
11Х4В2С2	1060-1080	530*	61-62	3750	0,40-0,50
Φ3М	1000-1020	200	62-63	3500	0,30-0,35
Х5В2С4Φ 2НМ	1150-1170	530*	62-63	3300	0,25-0,30
високоміцні сталі з підвищеною ударною в'язкістю					
7ХГ2ВМ	850-870	140-160	60-61	2800	0,60
7ХГНМ	850-870	140-160	60-61	3500	1,60
6Х6В3МФС	1060-1075	530*	57-62	3850	0,80-1,20
6Х4М2ФС	1060-1075	520-540	59-62	4100	1,20-1,40
* Трикратний відпуск по 1 годині.					

З метою поліпшення структури штампової сталі та її механічних властивостей розробляються різні види обробки металів, засновані на використанні циклічних теплових ефектів, вони отримали назву термоциклічна обробка (ТЦО). На відміну від інших типів термічної обробки, структура і зміна фазового стану в ТЦО повторюються при змінній температурі нагрівання та охолодження. Ефективність ТЦО на експлуатаційні характеристики значною мірою залежить від її реалізації, тобто температури циклу, числа циклів та швидкості нагрівання та охолодження. Суперечливе розуміння їх взаємного впливу створює передумови для застосування широкого спектру методів ТЦО. Вони не тільки мають різні принципи впливу на структуру (із повною зміною фазового стану, частковою або відсутністю такої зміни), найголовнішим є те, що різниця перевищує результат. Завдання створення цієї вдосконаленої технології теплового циклу для інструментів, які працюють в різних термічних умовах, надзвичайно складне та різноманітне. Його рішення суттєво продовжить термін експлуатації шляхом пошуку нового нестандартного циклу обробки та нестандартної комбінації параметрів ТЦО. Ці режими будуть створювати керований структурний стан в металі через абразивні частинки, тим самим збільшуючи щільність дефектів, прискорюючи процес дифузії та інші фізичні ефекти [2].

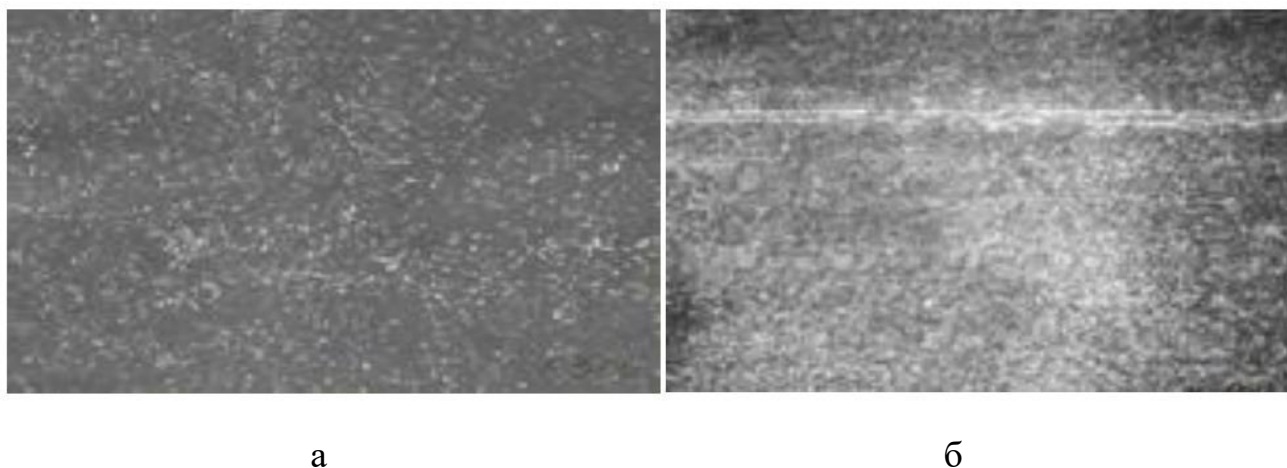
Для поліпшення структури штампових сталей, підвищення їх механічних властивостей, розробляються різні види обробки металів. Відомий спосіб термомеханічної обробки штампів, що включає нагрівання до температури аустенізації, деформацію, гартування, старіння і місцевий відпуск тіла штампа.

Цей спосіб забезпечує високу зносостійкість, але при гартуванні штампів поковки виявляють схильність до утворення гартівних тріщин внаслідок високих передзагартувальних залишкових напруг, що виникають внаслідок нерівномірності деформації, і високих температурних напруг, обумовлених значним перепадом температур від температури аустенізації до початку мартенситного перетворення аустеніту [5].

Попередньо штамповану заготовку піддають нормалізації, очищенню і гальванічного нікелювання для захисту від окалиноутворення. Потім заготовку нагрівають до температури аустенізації ($920\text{ }^{\circ}\text{C}$) і занурюють в охолоджуючу ванну з температурою, рівній температурі відносної стійкості аустеніту ($450\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Після охолодження заготовку встановлюють в спеціальний охолоджуючий пристрій, що забезпечує можливість термічного впливу на поковку двох ізольованих одна від іншої середовищ з різними температурами. У цьому пристрої передбачені два відсіки, які при установці поковки перекриваються. У відсік з гравюрою штампа безперервно подають теплопровідну рідину з температурою $450\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в відсік з виступаючим тілом поковки штампа – гартівну рідину з температурою $50\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$. після гартування тіла поковки подачу рідини в цей відсік припиняють і поковку об'ємно прогрівують до $450\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потім заготовку витягують з пристрою і витримують в печі з тією ж температурою $450\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 2-4 годин для відпуски загартованого тіла поковки. Потім поковку передають під видавлювання гравюри, яке здійснюють майстер-пуансоном з температурою $450\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поковку з видавленою гравюрою піддають гартуванню і відпуску [5].

На рис. 1.3 а показано розподіл карбідів в сталі X12M до термомеханічної обробки і після неї. На рис. 1.3 б спостерігається карбідна неоднорідність деформованої структури.

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) забезпечує більш високий рівень зміцнення сталі ніж високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО), але цей спосіб обробки потребує більш високих ступенів деформації, що в умовах відносно низьких температур, при яких відбувається процес деформування, можливо здійснити при умові наявності потужного устаткування для деформування. Тому в умовах машинобудівних підприємств здійснення НТМО пов'язано зі значними труднощами [5].



а – до термомеханічної обробки x100;
 б – після термомеханічної обробки x500

Рисунок 1.3 – Розподіл карбідів в структурі сталі X12M [5]

1.3.3 Шляхи підвищення експлуатаційних характеристик

Підвищення зносостійкості штампового оснащення є одним з важливих завдань. З цією метою інтенсивно проводять розробки і дослідження різноманітних методів нанесення та зносостійкості твердих покриттів.

Нові види термічної та поверхневої обробки з підвищення стійкості штампів не можливо рекомендувати без проведення прямих випробувань на зносостійкість та втому. Методи, які побічно оцінюють вплив поверхневої обробки не дають об'єктивної картини.

Основні напрямки зі створення та дослідження зносостійких покриттів пов'язані з наступним.

Відсутність досліджень механізмів зношування штампів після поверхневого зміцнення потребує дослідження поверхневих зміцнень за різними технологіями за

одною методикою та проведення фрактографічних досліджень зношених поверхонь.

Нанесення зносостійких покриттів мають свої переваги та недоліки з точки зору використання, але практика показує, що нанесення одного шару покриття не забезпечує комплекс потрібних властивостей, тому потрібно створювати та досліджувати багатошарові покриття із змінними властивостями та хімічним складом [6].

Підвищення стійкості штампів носить комплексний характер, який враховує значну кількість факторів. До головних факторів необхідно віднести наступні: тип штампової сталі, з якої виготовлюють пуансони і матриці; спосіб гартування сталей, який змінює їх механічні властивості і структуру; матеріали, які обробляються; спосіб поверхневого зміцнення робочих елементів. Не існує єдиної думки відносно показника механічних властивостей, який можливо використовувати для прогнозування зносостійкості штампів. Оцінка зносостійкості матеріалів тільки по твердості не дозволяють виявити найбільш зносостійких сталей, тому що сталі різного хімічного складу при рівної твердості мають різну зносостійкість, в цьому випадку більше впливає ударна в'язкість

Дослідження [7, 8] показали, що для підвищення стійкості штампу необхідно створити на поверхні ріжучих кромek шар матеріалу із структурою та комплексом властивостей, які мають максимальну стійкість до різних типів впливу та гальмують негативні структурні перетворення в процесі роботи штампу. Висока ефективність використання покриттів обумовлена тим, що зона активації поверхні при терті невелика. Глибина її не перевищує 10-15 мкм. Саме тому при нанесенні покриттів всі основні взаємодії локалізуються в шарі покриття. Покриття грають роль екрану, який захищає поверхні ріжучих кромek від пошкоджень, налипання матеріалу заготовки, особливо на стадії припрацювання. Необхідно забезпечити мінімальне пошкодження ріжучих кромek і сталість термомеханічної активації поверхні до моменту адаптації. Це досягається, в першу чергу, за рахунок забезпечення високої твердості

покриття. Підвищення мікротвердості і відповідно межі текучості збільшує опір напруженням, які викликають зминання ріжучих кромок.

Як показують дослідження [9] стійкість карбувальних штемпелів, внаслідок впливу випадкових чинників може відрізнятись на порядок. Це пов'язано з тим, що процес руйнації, який викликаний втомою, включає дві стадії: стадію зародження тріщини, на яку впливає стан поверхні та концентрація напружень, і стадію поширення (локалізованої руйнації). Для кожної з них визначальними є свої механізми. Підвищення характеристик тріщиностійкості та зменшення смуги розсіювання кількості карбувань до руйнації штемпелів можливо шляхом холодного видавлювання заготовок штемпелів форма, яких максимально наближена до форми штемпеля [10].

Для підвищення корозійних та зносостійких характеристик металевих матеріалів за рахунок зміни хімічного складу поверхневих шарів існують різні промислові методи: лазерне поверхнєве плавлення, цементация, електроіскрове осадження, хімічне осадження з парової фази, плазмове азотування, боралітування, борування та інші.

Найперспективнішими методами підвищення жорсткості та зносостійкості деталей машин і інструментів є комплексні дифузійні боридні покриття [6] (хромування бором, титанування бором) та азотування (іонне азотування, газове азотування). Ці методи є найбільш ефективними та менш енергоємними, ніж інші, що дає їм очевидні переваги у вдосконаленні та застосуванні.

1.4 Доцільність та особливості використання технології порошкової металургії для інструментальних сталей

Порошковою металургією називається область техніки, що охоплює процеси отримання порошків металів і металоподібних сполук та процеси виготовлення виробів з них без розплавлення.

Типова технологічна схема отримання виробів методами порошкової металургії включає:

- виробництво порошків металів і інших матеріалів;
- формування заготовки з порошку із зв'язкою або без неї шляхом пресування або плющення;
- спікання заготовки при температурі нижче за температуру плавлення основного компоненту;
- додаткову обробку спеченого виробу - механічну обробку та інші.

За реальних умов в залежності від вимог до виробу і технологічних можливостей можуть бути відхилення від загальної схеми: наприклад, друга і третя операції за гарячого способу формування поєднуються.

Наведена технологічна схема дозволяє: виготовляти матеріали і вироби з такими складами, структурами і властивостями, які неможливо отримати традиційними металургійними методами (литтям, обробкою тиском, термообробкою); виготовляти вироби із звичайними складами, структурою і властивостями, але з істотно меншою витратою матеріалів і точніше витриманими розмірами.

Серед наявних різноманітних способів обробки металів порошкова металургія займає своє особливе місце, тому що дозволяє не тільки робити вироби різних форм і призначень, але і створювати принципово нові матеріали, одержати які іншими шляхом украй важко або взагалі неможливо. Порошкова металургія успішно конкурує з литтям, обробкою тиском, різанням та іншими методами, доповнюючи або замінюючи їх.

Порошкова металургія має і недоліки, що гальмують її розвиток: порівняно висока вартість металевих порошків, необхідність спікання в захисній атмосфері, що також збільшує собівартість виробів порошкової металургії, неможливість виготовлення в деяких випадках виробів і заготовок великих розмірів, складність отримання металів і сплавів у компактному стані, необхідність застосування чистих початкових порошків для отримання чистих металів [11].

Недоліки порошкової металургії і деякі її переваги не можна розглядати як чинники постійної дії: в значній мірі вони залежать від стану і розвитку як самої порошкової металургії, так і інших галузей промисловості. У міру розвитку техніки порошкова металургія може витіснитися з одних областей і, навпаки, завойовувати інші. Завдяки створенню методів всебічного стискання порошків при високих температурах в основному подолані і труднощі виготовлення безпористих заготовок великих розмірів.

На властивості кінцевого продукту суттєво впливає гранулометричний склад порошку, макроструктура і мікроструктура частинок та їхня форма, стан поверхні та інше. Визначають також спікання за різних температур у лабораторних умовах, після чого отримані розчини переносять до технологічного процесу.

Гаряча екструзія спеченого порошку здійснюється з метою підвищення густини матеріалу і формування дислокаційної структури, яка забезпечує термічну стабільність і міцність, високий ступінь обтиску. Температура процесу, не перевищує температури спікання, граничний тиск знаходиться у межах від 1000 МПа до 1400 МПа. Іноді, для тугоплавких порошків, екструзія здійснюється в м'яких оболонках з алюмінію чи нержавіючої сталі. Після екструзії застосовують і інші види деформації (волочіння, прокатка, кування та інші).

Доцільним є використання технології порошкової металургії для отримання холодноштампових сталей. Це особливо потрібно при високому вмісті легувальних елементів, коли необхідно мати однорідну структуру та високий рівень комплексу механічних властивостей.

Світова практика використання порошків інструментальних сталей віддає перевагу порошкам газового розпилення. Це пов'язано з тим, що порошки водного розпилення мають високий вміст кисню (до 0,3%) і при спіканні заготовок з цих порошків для видалення кисню потрібно використовувати рідкофазне спікання, яке призводить до зростання карбідної фази і, як наслідок, до зниження механічних характеристик сталі.

1.5 Мета та постановка задачі дипломної роботи

Аналіз стану справ щодо холодної обробки металів тиском свідчить про необхідність проведення подальших досліджень, спрямованих на уточнення оптимальних схем легування та дослідження холодноштампових інструментальних сталей для підвищення їх працездатності.

Незважаючи на розробку високотвердих штампових сталей типу Х4С4В2Ф2НМ (ДИ57) і Х4С3В2К2МФ (ДИ67), що володіють високим опором малим пластичним деформаціям (2400-2600 МПа), заслуговує на увагу пошук раціонально легованих сталей для інструменту холодного пресування, що експлуатується за умов впливу питомих тисків порядку 2700-2900 МПа. Підвищення опору тиску та зносостійкості сталей для важконавантаженого інструменту холодного деформування можливе за рахунок інтенсифікації процесів їх вторинного твердіння та збільшення об'ємного вмісту карбідної фази. Це потребує відповідного пошуку їх хімічного складу та збільшення загального рівня легованості. При використанні звичайних способів виплавки цей шлях наштовхується на перешкоду, що важко подолати, у вигляді різкого посилення ліквідаційних явищ і зниження міцності та пластичності. Позбавлення таких недоліків може забезпечити використання технології порошкової металургії для отримання холодноштампових сталей. З урахуванням викладеного метою дипломної роботи є визначення характеристик дослідницьких холодноштампових сталей, отриманих методом порошкової металургії, для вибору раціонального легування. Забезпечення цього потребує вирішення наступних поставлених задач:

- вибір легування дослідницьких сталей;
- дослідження зміни характеристик структури сталей при термічній обробці;
- забезпечення ефективності зміцнення досліджувальних сталей за рахунок дисперсійного твердіння при відпуску;

- визначення механічних властивостей холодноштампових порошкових сталей після зміцнювальної термічної обробки для вибору їх раціонального легування;
- дослідження впливу збільшеного вмісту кисню на властивості порошкової сталі.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

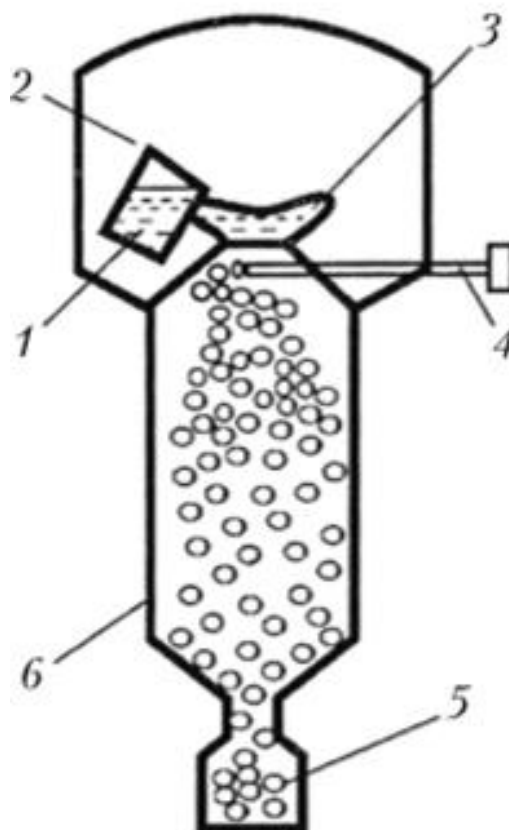
2.1 Хімічний склад та технологія отримання сталей

Хімічний склад обраних для дослідження сталей наведено у табл. 2.1. Поряд зі сталями № 1–7, легованими в високих кількостях карбідоутворюючими елементами, кремнієм і кобальтом, до досліджуваних складів включені також дві сталі № 8, 9 типу 17X4B3Φ5C2M, що істотно різняться за вмістом кисню (0,024% та 0,042%).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад досліджуваних марок сталей

№ з/п	Марка сталі	Масова частка елементів, %							
		C	Si	Cr	W	Mo	V	Co	O ₂
1	19X4B3M2Φ5C2K3	1,88	2,26	3,67	3,70	2,34	5,50	3,40	0,020
2	20X5B3M2Φ5C3K3	2,0	2,70	5,30	3,27	2,53	5,97	3,30	0,0174
3	18X4B5M2Φ5C3K3	1,76	2,40	4,24	5,24	2,10	5,00	2,80	0,0304
4	22X4B3M2Φ7K5	2,20	0,23	3,92	2,93	1,80	6,70	4,86	0,0304
5	22X4B3M2Φ7C3K5	2,23	2,51	3,80	3,34	2,56	7,00	4,40	0,0297,
6	24X4B3M2Φ7C3K5	2,43	2,24	4,22	2,91	1,91	6,60	4,67	0,0258
7	28X6B3M1Φ8C2K5	2,78	2,03	5,70	3,10	1,06	8,20	4,97	0,0297
8	17X4B3Φ5C2M	1,73	2,16	4,19	3,33	1,40	5,25	—	0,024
9	17X4B3Φ5C2M	1,71	2,10	4,56	3,33	1,40	5,75	—	0,042

Усі наведені в табл. 2.1 сталі є дослідницькими і отримані за технологією порошкової металургії. Використана загальноприйнята технологія отримання порошкової сталі розпиленням (диспергуванням) в аргоні. Маса плавки дорівнювала 50 кг. На рис. 2.1 наведена схема розпорошення рідкого металу струменем аргону.



1 – розплав; 2 – вакуумна індукційна піч; 3 – приймальня воронка;
4 – сопло для подачі аргону; 5 – гранули; 6 – камера розпилення

Рисунок 2.1 – Схема розпорощення струменем аргону

Розпилений порошок піддавали компактуванню та вакуумуванню в сталевих контейнерах з подальшим пресуванням на пруток діаметром 15–25 мм.

2.2 Виготовлення зразків та визначення механічних властивостей

В роботі використані наступні методи механічних випробувань: вимірювання твердості, на ударну в'язкість (ударний згин), на згин (статичний), на

стискання та на втому. Зразки виготовляли з пресованих прутків діаметром 15 мм, які попередньо піддавали відпалу.

Твердість визначали на твердомірі ТК2 за Роквелом за шкалою С (в одиницях HRC) з використанням алмазного конусного індентора [12].

Для випробування на ударну в'язкість використовували стандартні зразки квадратного перерізу зі стороною квадрату 10 мм та довжиною 55 мм. Зразки були без надрізу, що відповідає умовам випробування сталей з низькою ударною в'язкістю. Випробування виконували на маятниковому копрі за схемою, що зображена на рис. 2.2.

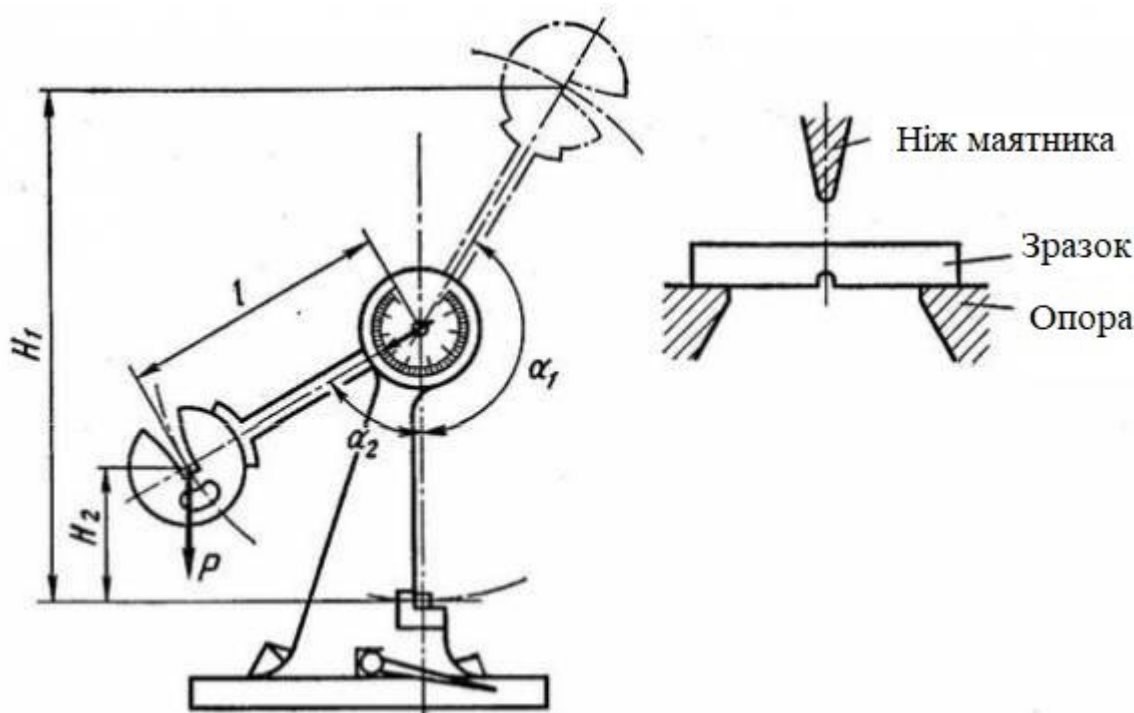


Рисунок 2.2 – Схема випробувань на ударний згин на маятниковому копрі [13]

Ударну в'язкість КС розраховували, як роботу, витрачену на ударне руйнування зразка, віднесену до початкової площі поперечного перерізу зразка.

Випробування на згин проводили на універсальній випробувальній машині у відповідності до стандарту ДСТУ ISO 7438:2005. Зразки мали циліндричний вигляд із діаметром 5 мм та довжиною 70 мм.

Сутність випробувань зображена на рис. 2.3.

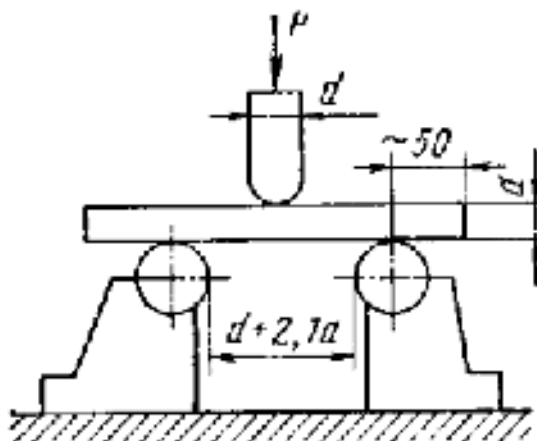


Рисунок 2.3 – Схема випробувань на згин [13]

Зразок встановлювали на опорну плиту в нижньому захваті і деформували згинаючим ножом, що кріпиться у верхньому захваті машини. Відстань між опорами складала 50 мм. Швидкість переміщення рухомого захвату випробувальної машини 0,2 мм/сек. Навантаження виконували до моменту руйнування зразка з фіксуванням величини відповідного навантаження. Питоме напруження σ розраховували за формулою:

$$\sigma = 8PL/\pi d^3,$$

де P – навантаження, що діє на зразок;

L – відстань між опорами;

d – діаметр зразка.

По відомим величинам навантажень для $P_{пр.0,05}$, $P_{0,2}$, $P_{руйн.}$ можна визначити умовні границі пружності $\sigma_{0,05}$, плинності $\sigma_{0,2}$ і міцності $\sigma_{зг}$ при згині.

Випробування на стиск виконували згідно ГОСТ 25.503-97. Зразки виготовляли циліндричної форми із розмірами $\ell = 30$ мм, $d = 20$ мм. Під час випробування зразок розташовують між двома гладкими жорсткими паралельними

площинами і поступово сплющують його до заданих умов. Стискаюче навантаження прикладали уздовж поздовжньої осі у центрі ваги перерізу.

Випробування на втому сталей № 8, 9 проводили на машині УКИ-1 з використанням зразків типу "Котушка" (з діаметром та висотою робочої частини 12 мм і 20 мм і радіусом її сполучення з "головками" 1,5 мм). Зразки піддавали дії заданих навантажень при циклічному стисненні. База випробувань складала 10000 циклів. Далі відбувався консольний згин зразків з поступово зростаючим навантаженням та повільним обертанням. Така методика дає можливість виявити вплив на після циклічну міцність при згині локалізованих в окремих об'ємах дефектів втомного походження.

2.3 Термічна обробка

Термічну обробку сталей проводили в електричних печах з захисною атмосферою. Заготовки зразків усіх досліджуваних сталей попередньо піддавали ізотермічному відпалу за режимом: нагрів та витримка протягом 6 годин при температурі 860 °С, охолодження зі швидкістю 40 °С за годину до температури 720 °С, витримка 3 години, охолодження з піччю до температури 550 °С, далі охолодження на повітрі. Подальша зміцнювальна термічна обробка складалась з гартування та відпуску. Гартування виконували від температур 1000-1200 °С з охолодженням в олії або на повітрі. Відпуск робили при температурі 500-560 °С впродовж 1 години кратністю від 1 до 5 разів.

2.4 Методики досліджень

Металографічні дослідження для оцінки розмірів і розподілу надлишкових фаз в структурі сталей виконували на оптичному мікроскопі «Неофот 2» при збільшенні 1000 разів. Шліфування та полірування зразків виконували загальноприйнятим чином. Мікроструктуру виявляли методом теплового травлення. Зразки витримували в жаровій камері при температурі 400 °С протягом 4–5 хвилин. В результаті такої обробки поле твердого розчину окислювалося і виглядало темним, а частинки надлишкових карбідних фаз не окислювалися і мали світлий вигляд при спостереженні в мікроскопі.

Розмір зерна можна також оцінювати номером (балом) за спеціальною шкалою.

Розмір (величину) дійсного аустенітного зерна сталей визначали згідно ДСТУ ISO 643:2009 «Сталі. Мікрографічний метод визначення видимого розміру зерна». Оцінка розміру аустенітного зерна відповідала певному номеру, який обирався шляхом порівняння структури досліджуваних сталей з наведеними у стандарті еталонними зображеннями.

Кількість залишкового аустеніту в досліджуваних сталей після гартування та після наступного відпуску визначали балістичним методом на магнітометричній установці типу БУ-3 із співвідношення:

$$A = [(I_{\text{ст}} - I)/I_{\text{ст}}] \cdot 100, \%,$$

де $I_{\text{ст}}$ та I – намагніченості насичення еталонного та дослідного зразків відповідно.

Еталонним був відпалений зразок з досліджуваної сталі у відпаленому стані.

З РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОСЛІДНИЦЬКИХ ШТАМПОВИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ХОЛОДНОГО ДЕФОРМУВАННЯ, ОТРИМАНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

3.1 Вибір легування дослідницьких сталей

Вміст легувальних елементів в сталях, обраних для дослідження було наведено у табл. 2.1. При виборі потрібної кількості кожного легувального елементу враховували марочний склад та попередній досвід дослідження ролі кожного з них при створенні серійних високостійких холодноштампових сталей [1, 4, 14].

Як свідчить досвід створення сталей X5C4B2Φ2NM (ДИ57) та X4B3M2C3K2Φ (ДИ67), для забезпечення інтенсивного розвитку процесів дисперсійного твердіння та ефективного зміцнення ($\sigma_{0,05} = 2500$ МПа) дуже бажаним є введення до складу досліджуваних марок кремнію (2,5-4%) та кобальту (до 5%). Присутність цих елементів у підвищених кількостях у складі досліджуваних марок звичайного виробництва, супроводжується, разом, з тим, і рядом негативних ефектів, до яких відносяться помітне укрупнення первинних карбідів (і як наслідок, зниження опору втомної ушкоджуваності) і зменшення пластичності. Ці небажані явища неминуче повинні отримати ще більший розвиток при збільшенні в сталях концентрації карбідоутворюючих елементів, необхідному для досягнення більш високих значень межі пружності при стисканні (до 2700-2800 МПа), зносостійкості та вторинної твердості (HRC 66-67).

З урахуванням викладеного сталь № 1, що відповідає марочному складу 19X4B3M2Φ5C2K3, обрана як базова для важко навантаженого інструменту холодного деформування при отриманні за технологією порошкової металургії. В подальших складах зміна вмісту легувальних елементів передбачала підвищення рівня основних властивостей та працездатності базової сталі. Так, в сталі №2 (20X5B3M2Φ5C3K3) збільшено вміст хрому з 3,67% до 5,30%, в сталі

№3 (18X4B5M2Ф5C3K3) зросла кількість вольфраму з 3,70% до 5,24%. Приділена увага легуванню кремнієм. Хоча кремній не є карбідоутворюючим елементом і його кількість у сталі зазвичай обмежують до 2%, оскільки він значно підвищує межу плинності та міцність сталі. Однак при вмісті більше 1 % він знижує в'язкість, пластичність та підвищує поріг холодноламкості. Для виявлення його впливу на властивості в порошковій сталі додано сталь №4 (22X4B3M2Ф7K5), яка не легована кремнієм що дозволяє оцінити його роль в порівнянні зі сталлю №5 (22X4B3M2Ф7C3K5) з 2,51 % цього елементу. В сталі №6 (24X4B3M2Ф7C3K5) та №7 (28X6B3M1Ф8C2K5) порівняно з базовою введено більшу кількість вуглецю (2,43% та 2,78% відповідно проти 1,88%) при одночасному збільшенні вмісту ванадію та зменшенні молібдену. Водночас сталі №4-7 містять дещо більшу (до 5%) кількість кобальту.

У зв'язку з тим, що порошкові сталі можуть містити підвищену кількість кисню (порівняно з металом звичайного виробництва) в результаті чого утворюються неметалеві включення та субокисні плівки на поверхні частинок порошку, дуже важливим було оцінити його шкідливу роль (зокрема, для опору втомної ушкоджуваності). Для такого дослідження слугують сталі №8 та №9 подібного марочного складу (17X4B3Ф5C2M), що відрізняються вмістом кисню (0,024% та 0,042% відповідно).

3.2 Вплив термічної обробки на характеристики структури та твердість сталей

За структурним станом у рівноваговому стані усі обрані для досліджень сталі відносяться до ледебуритних. Для забезпечення вихідного стану та задовільної обробки різанням усі дослідницькі сталі піддавали відпалу за режимом: нагрів та витримка протягом 6 годин при температурі 860 °С, охолодження зі швидкістю 40 °С за годину до температури 720 °С,

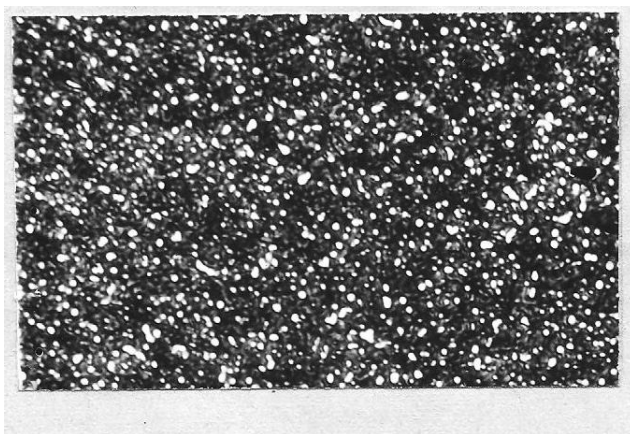
витримка 3 години, охолодження з піччю до температури 550 °С, далі охолодження на повітрі. Такий складний режим відпалу є характерним для високолегованих холодноштампових сталей.

Згідно з даними металографічних досліджень, всі сталі після відпалу мали однорідний розподіл карбідної фази, розміри основної маси надлишкових частинок при цьому не перевищували 0,5-1,0 мкм, що показано на рис. 3.1, а. Разом з тим, в сталях №5 (22X4B3M2Ф7C3K5), №6 (24X4B3M2Ф7C3K5) та №7 (28X6B3M1Ф8C2K5), з високим (біля 7-8%) вмістом ванадію, поряд з порівняно дрібнодисперсними карбідами, були присутні крупні включення розміром до 8-10 мкм, що, безсумнівно, має негативно впливати на опір втомної ушкоджуваності таких складів. Твердість всіх сталей після відпалу знаходилася в межах 32-37 HRC, проте особливих труднощів в механічній обробці при виготовленні зразків при цьому не виникло.

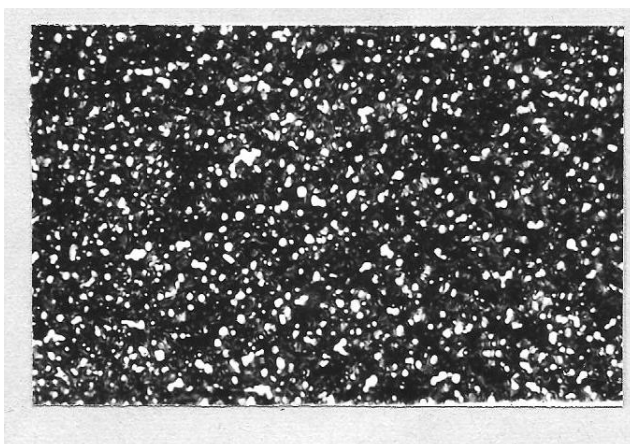
Слід зазначити, що прийнятий режим пом'якшувальної обробки (відпалу) виявився не зовсім вдалим для досліджуваних марок, оскільки для деяких з них температури завершення $\alpha \rightarrow \gamma$ перетворення лежать вище 860 °С. У цьому є певні перспективи подальшого поліпшення оброблюваності різанням досліджуваних сталей шляхом відповідного коригування їх режимів відпалу.

Для забезпечення службових характеристик вироби із холодноштампових сталей піддають зміцнювальній термічній обробці, яка полягає в гартуванні (аустенізації) та наступному відпуску.

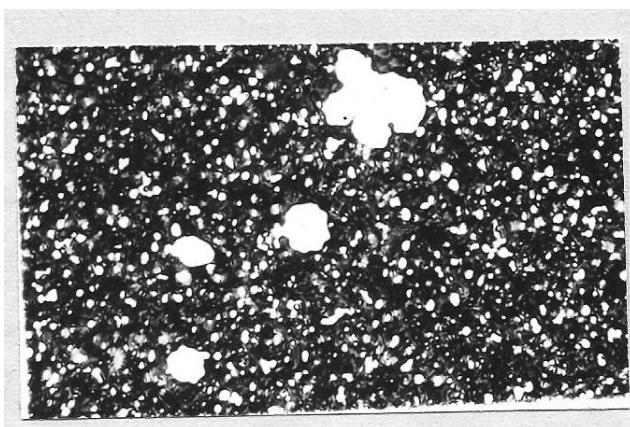
Після гартування сталі мають структуру мартенсит з певною часткою залишкового аустеніту. Важливою характеристикою в загартованому стані поряд з твердістю є номер аустенітного зерна (НАЗ). Його значення повинно бути не менше 10-го. Менший номер (більший розмір) аустенітного зерна свідчить про перегрів сталі, що призводить до суттєвого зниження пластичності і, відповідно, небезпеки крихкого руйнування холодноштампових інструментів в процесі експлуатації.



а



б



в

а – 18X4B5M2Φ5C3K3; б, в – 24X4B3M2Φ7C3K5

Рисунок 3.1 – Структура сталей після відпалу (x1000)

Для визначення стійкості проти перегріву зразки дослідних сталей піддавали гартуванню від температур аустенітного стану 1100-1200 °С з охолодженням в олії та на повітрі. Отримані дані наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вплив температури гартування на твердість і номер (величину) аустенітного зерна (НАЗ) досліджуваних сталей

№ з/п	Марка сталі	Температури гартування, °С					
		1100		1150		1200	
		HRC	НАЗ	HRC	НАЗ	HRC	НАЗ
1	19X4B3M2Φ5C2K3	–	–	$\frac{64,5}{65}$	13	$\frac{64}{65}$	13
2	20X5B3M2Φ5C3K3	$\frac{64}{63,5}$	13	$\frac{60}{60}$	12	$\frac{58}{59}$	11-12
3	18X4B5M2Φ5C3K3	$\frac{63,5}{63,5}$	11	$\frac{61,5}{61,5}$	11	$\frac{59,5}{61}$	11
4	22X4B3M2Φ7K5	$\frac{65,5}{66,5}$	13	$\frac{64,5}{65}$	12	$\frac{62}{62,5}$	11-12
5	22X4B3M2Φ7C3K5	$\frac{67}{66}$	–	$\frac{66}{65,5}$	13	$\frac{64,5}{64,5}$	13
6	24X4B3M2Φ7C3K5	$\frac{65}{65}$	12	$\frac{62}{60,5}$	11	$\frac{61,5}{59}$	11
7	28X6B3M1Φ8C2K5	$\frac{65,5}{65}$	13	$\frac{61,5}{62}$	13	–	–
Примітка: в чисельнику – значення твердості, отримані після гартування в олії, в знаменнику – на повітрі.							

Видно, що всі досліджувані сталі мають підвищену стійкість проти перегріву, зберігаючи при цьому дрібно зерно з номером 11-13 навіть після гартування від температури 1200 °С. Тобто всі сталі відповідають за цією характеристикою необхідному рівню. Це обумовлено наявністю в сталях необхідної кількості термічно стабільних частинок карбідів, які не розчиняються при зростанні температури до максимального значення. Найбільші значення номеру аустенітного зерна (13) та твердості (64-67 HRC) після гартування від усіх температур мають сталі №1 (19X4B3M2Φ5C2K3) та №5 (22X4B3M2Φ7C3K5).

Найменші значення цих характеристик (НАЗ 11, та твердість 58-59 HRC після гартування від температури 1200 °C) відповідали сталям №2 (20X5B3M2Ф5C3K3) та №3 (18X4B5M2Ф5C3K3).

Після гартування сталі досліджуваного типу набувають мартенситну структуру з залишковим аустенітом. Кількість залишкового аустеніту досягає досить високих значень – до 40-50%, в той час як для вуглецевих (не легованих) сталей вона не перевищує 5%. Велика кількість залишкового аустеніту є характерною особливістю високолегованих інструментальних сталей [1], що обумовлено значною пересиченістю твердого розчину легувальними елементами при гартуванні і, відповідно, зниженням температур початку (M_n) та завершення (M_k) мартенситного перетворення.

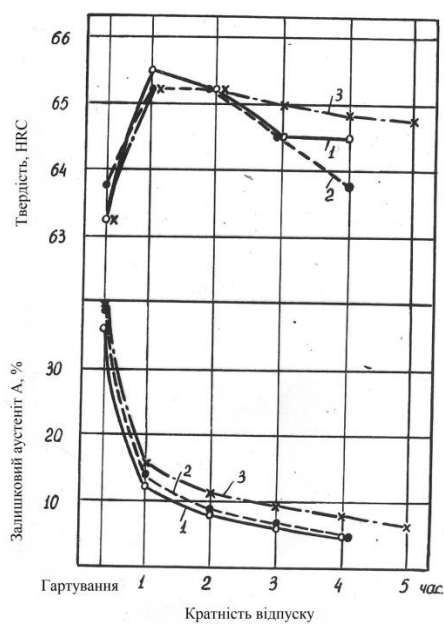
Формування необхідних службових властивостей відбувається в результаті відпуску загартованої сталі. В процесі відпуску відбувається зростання твердості порівняно із загартованим станом, оскільки при цьому з пересиченого твердого розчину виділяються дисперсні частинки зміцнювальних спеціальних карбідів. Тобто має місце типове дисперсійне твердіння за рахунок виділення вторинних фаз. Температура відпуску для холодноштампових сталей з дисперсійним зміцненням, до яких відносяться досліджувані сталі, зазвичай знаходиться в області температур 500-560 °C. Тривалість витримки при температурі відпуску складає біля 1 години. Важливо, що після відпуску і охолодження до кімнатної температури кількість залишкового аустеніту зменшується внаслідок зменшення концентрації в твердому розчині легувальних елементів, які витрачаються на утворення вторинних карбідів. Аустеніт при охолодженні частково перетворюється в структуру мартенситного типу, що додатково зміцнює сталь. Для більш повного перетворення аустеніту виконують багаторазове (циклічне) відпускання. Для досліджуваних сталей кратність відпуску досягала 4 разів.

Розглянемо вплив багаторазового відпуску на зміни твердості та кількості залишкового аустеніту досліджуваних сталей після попереднього гартування від різних температур. Вигляд кривих отриманих залежностей для усіх досліджуваних сталей був подібний. На рис. 3.2 такі залежності показані на

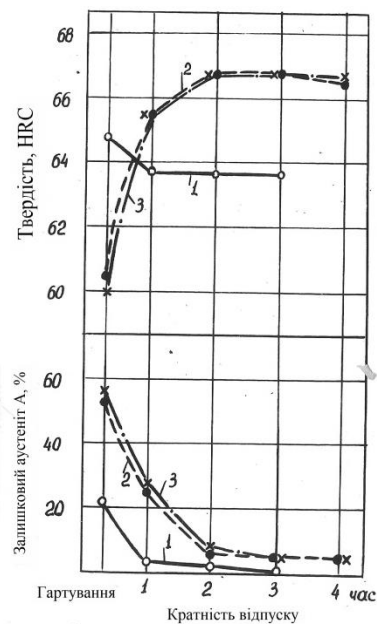
прикладі сталей №1 (19X4B3M2Ф5C2K3), №2 (20X5B3M2Ф5C3K3), №4 (22X4B3M2Ф7K5) та №5 (22X4B3M2Ф7C3K5). Згідно отриманим даним гартування від більш високих температур забезпечувало сталям більші значення твердості після відпускання. Це пояснюється зростанням пересиченості твердого розчину при збільшенні температури гартування внаслідок більш повного розчинення надлишкових карбідів. Відповідно, при подальшому відпуску зростала і кількість (частка) зміцнювальних частинок, що виділялись. Якщо після гартування твердість, в залежності від складу сталі, складала 60-63 HRC, то після відпуску вона зростала до 66-67 HRC. Кількість залишкового аустеніту по мірі збільшення числа відпусків зменшувалась з 40-55% в загартованому стані до 3-5% після третього – четвертого відпуску. Вказане відповідає очікуваним змінам вказаних характеристик сталей.

Таким чином, згідно виконаним дослідженням, усі сталі мають чітко виражену схильність до вторинного твердіння, при цьому величина їх зміцнення, зростає по мірі збільшення температури гартування (аустенітизації).

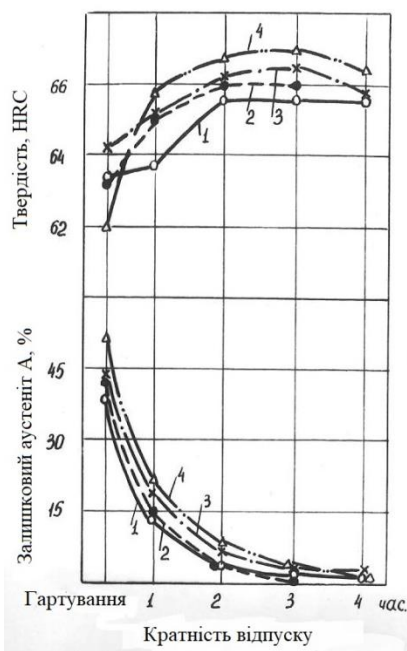
Подальші дослідження спрямовані на пошук оптимальних температур відпуску досліджуваних сталей, які забезпечують їм найбільше зміцнення після гартування від різних температур. Температуру гартування варіювали в межах 1000-1200 °C, а відпуск виконували в межах 480-560 °C з витримкою 1 година. Кратність відпуску складала 4 рази. Результати досліджень впливу температури відпуску на твердість сталей наведені на рис 3.3.



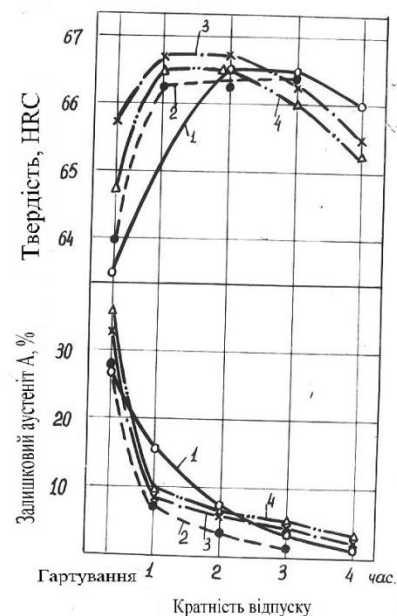
а



б



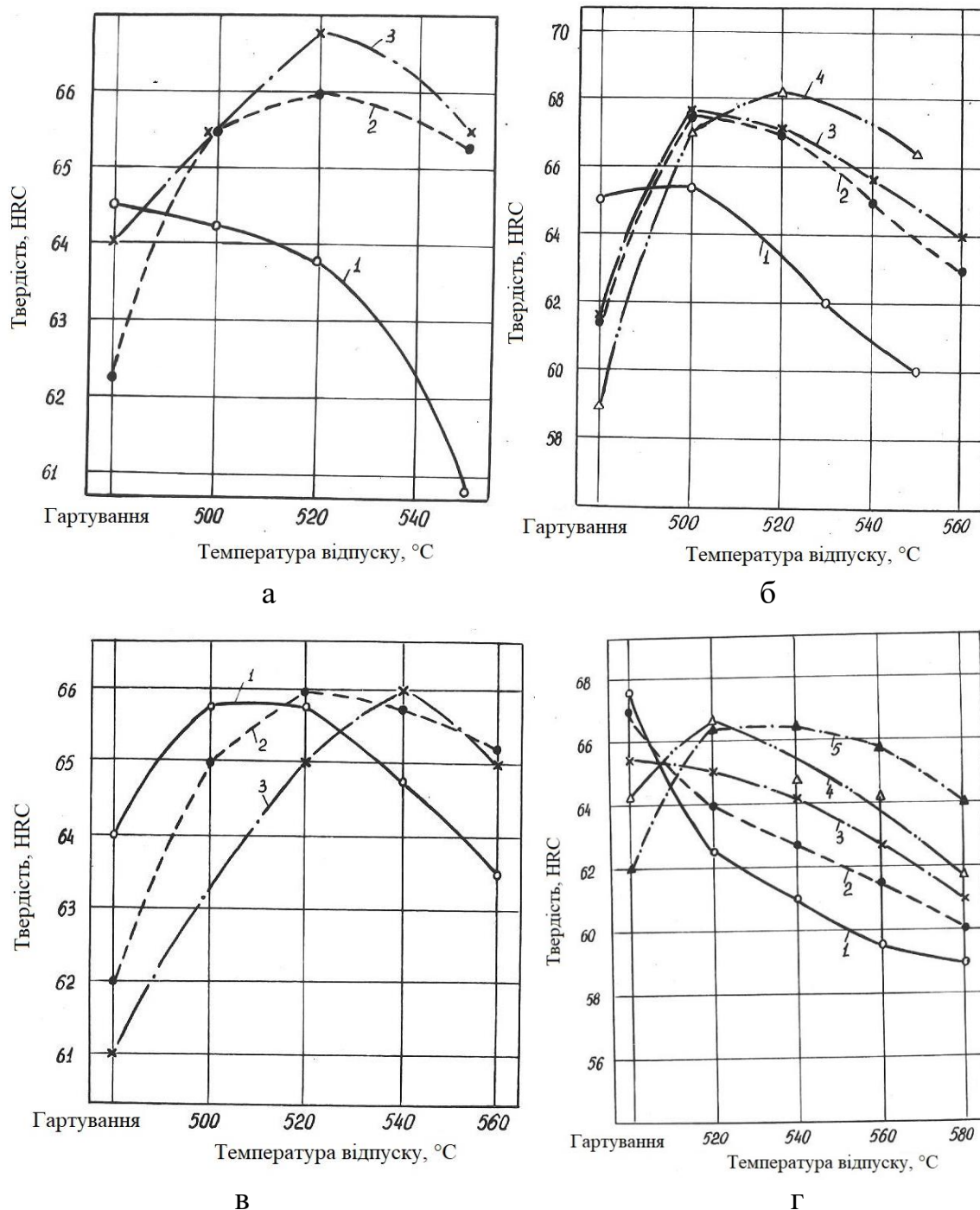
в



г

а – 19X4B3M2Φ5C2K3 (1 - гарт від 1070 °C + відпуск при 560 °C, 2 – 1120 °C + 560 °C, 3 – 1150 °C + 560 °C); б – 20X5B3M2Φ5C3K3 (1 – 1050 °C + 500 °C, 2 – 1120 °C + 520 °C, 3 – 1150 °C + 520 °C); в – 22X4B3M2Φ7K5 (1 – 1120 °C + 520 °C, 2 – 1150 °C + 540 °C, 3 – 1180 °C + 540 °C, 4 – 1200 °C + 550 °C); г – 22X4B3M2Φ7C3K5 (1 – 1120 °C + 520 °C, 2 – 1150 °C + 540 °C, 3 – 1180 °C + 540 °C, 4 – 1200 °C + 550 °C)

Рисунок 3.2 – Вплив температури гартування і кратності відпуску на твердість та вміст залишкового аустеніту в сталі №1 (19X4B3M2Φ5C2K3), №2 (20X5B3M2Φ5C3K3), №4 (22X4B3M2Φ7K5), №5 (22X4B3M2Φ7C3K5)



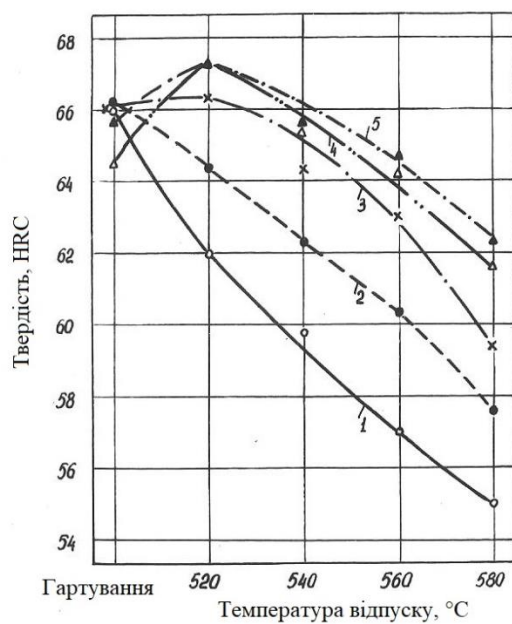
а – 19Х4В3М2Ф5С2К3 (1 – 1050 °C; 2 – 1150 °C; 3 – 1200 °C);

б – 20Х5В3М2Ф5С3К3 (1 – 1050 °C, 2 – 1130 °C, 3 – 1150 °C, 4 – 1200 °C);

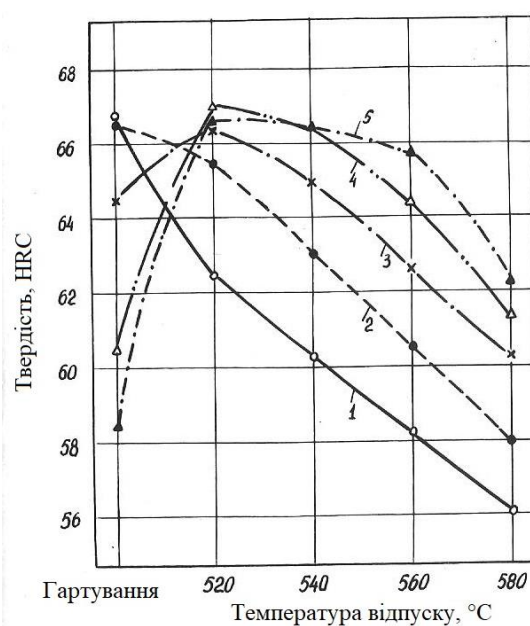
в – 18Х4В5М2Ф5С3К3 (1 – 1100 °C, 2 – 1150 °C, 3 – 1200 °C);

г – 22Х4В3М2Ф7К5 (1 – 1000 °C, 2 – 1050 °C, 3 – 1100 °C, 4 – 1150 °C, 5 – 1200 °C)

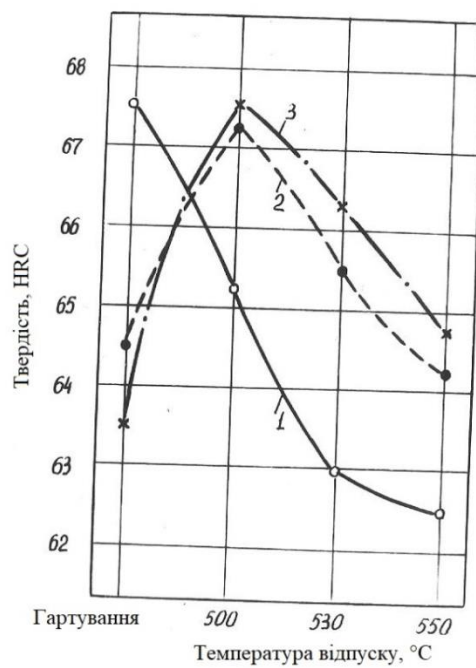
Рисунок 3.3 – Зміна твердості сталей в залежності від температури відпуску після гартування від різних температур (температури гартування вказані біля марочного позначення кожної сталі)



Д



е



Ж

д – 22X4B3M2Φ7C3K5 (1 – 1000 °C, 2 – 1050 °C, 3 – 1100 °C, 4 – 1150 °C, 5 – 1200 °C); е – 24X4B3M2Φ7C3K5 (1 – 1000 °C, 2 – 1050 °C, 3 – 1100 °C, 4 – 1150 °C, 5 – 1200 °C); ж – 28X6B3M1Φ8C2K5 (1 – 1030 °C, 2 – 1130 °C, 3 – 1150 °C)

Рисунок 3.3, аркуш 2

Проаналізуємо отримані результати. Для усіх сталей наведені залежності мають переважно вигляд кривих з максимумом. Це відповідає загальній температурній залежності зміцнення при дисперсійному твердінні. По мірі зростання температури відпуску до максимальних значень твердості відбувається розпад пересиченого твердого розчину (що утворився після гартування) з поступовим збільшенням частинок зміцнювальних карбідних сполук. Чим більша об'ємна частка зміцнювальних фаз, що пропорційно величині пересиченості твердого розчину, тим вищі значення максимальної твердості. Область праворуч максимуму відповідає коагуляції та розчиненню зміцнювальних частинок, що і обумовлює знеміцнення сталей при відповідних температурах. Для кривих твердості, що отримані після гартування від температур 1050 °С та нижче, не спостерігається максимум, а твердість зразу поступово знижується по мірі зростання температури відпуску. Це означає, що така температура гартування недостатня для розчинення надлишкових карбідних фаз і утворення пересиченого твердого розчину. Таким чином дані рис 3.3 дозволяють обрати температури гартування та відпуску для максимального зміцнення певної сталі, визначити до яких значень можна підвищити її твердість при відпуску.

Найбільш високий рівень вторинної твердості досягається в досліджуваних сталях, як видно з співставлення отриманих залежностей для сталей 19Х4В3М2Ф5С2К3 (рис. 3.3, а) і 20Х5В3М2Ф5С3К3 (рис. 3.3, б) порівняно простими засобами легування – збільшенням вуглецю, кремнію та хрому в порівнянні з базовим складом до 2%, 3% і 5% відповідно. Аналіз результатів, отриманих на сталях типу 22Х4В3М2Ф7К5 (рис. 3.3, г), 22Х4В3М2Ф7С3К5 (рис. 3.3, д) та інших досліджуваних сталей (рис. 3.3, в, е, ж), дозволяє зробити висновок про необхідність введення кремнію в кількостях до 2,5-3% і недоцільність підвищення в них вмісту ванадію і вольфраму понад 5% та 3%, відповідно.

3.3 Вплив легування на механічні властивості сталей

Для оцінки працездатності штампових сталей для холодного деформування металів, окрім твердості, важливим є визначення їх характеристик при випробуванні на згин, стискання та ударну в'язкість. Міцність сталей при випробування на згин (σ_{zg}) характеризує стійкість сталі проти руйнування. Випробування на стискання з визначенням границі пружності ($\sigma_{0,05}$) та умовної границі текучості ($\sigma_{0,2}$) дозволяють оцінити опір штампового інструменту малим пластичним деформаціям тобто збереження робочих розмірів в процесі експлуатації. Ударна в'язкість, що зазвичай визначається для холодноштампових сталей на зразках без надрізу (КС), характеризує стійкість проти утворення та розповсюдження тріщин в штамповому інструменті в умовах циклічного силового навантаження.

Визначення вказаних характеристик досліджуваних сталей виконували після гартування від різних температур та відпуску (4 рази по 1 годині) на максимальну твердість згідно даних, наведених для кожної сталі на рис 3.3. Як приклад, це наведено в табл. 3.2 для трьох температур гартування базової сталі 19X4B3M2Ф5C2K3.

З порівняння наведених властивостей видно, що для цієї сталі за твердістю, кількістю залишкового аустеніту та ударною в'язкістю відмінностей для гартування від різних температур практично немає. Однак найбільші значення σ_{zg} забезпечує термічна обробка за режимом: гартування 1120 °C + відпуск 560 °C, хоча значення $\sigma_{0,05}$ та $\sigma_{0,2}$ залишаються при цьому на однаковому рівні. Це дозволяє визначити вказаний режим як найкращий для забезпечення високого комплексу властивостей сталі 19X4B3M2Ф5C2K3. Таким же чином визначені найкращі режими термічної обробки інших досліджуваних сталей, які разом з відповідними механічними властивостями наведені далі в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості досліджених марок сталей

Термічна обробка	Твер- дість, HRC	A _{зал} , %	Механічні властивості			
			КС, Дж/см ²	σ _{зг} , МПа	σ _{0,2} , МПа	σ _{0,05} , МПа
19X4B3M2Φ5C2K3						
Гартування 1070 °С + відпуск 560 °С	63-63,5	5,3	20	3700	2925	2425
Гартування 1120 °С + відпуск 560 °С	63,5-64	5,5	18,5	4100	2925	2450
Гартування 1150 °С + відпуск 560 °С	64-65	6,4	19	2700	2900	2400
20X5B3M2Φ5C3K3						
Гартування 1150 °С + відпуск 520 °С	67	5,0	15	3550	3500	2950
18X4B5M2Φ5C3K3						
Гартування 1100 °С + відпуск 560 °С	62-63,5	2,0	20	4050	3000	2350
22X4B3M2Φ7K5						
Гартування 1120 °С + відпуск 520 °С	65,5-66	2,2	15	3450	3050	2525
22X4B3M2Φ7C3K5						
Гартування 1180 °С + відпуск 540 °С	65,5-66	3,0	20	3200	3300	2725
24X4B3M2Φ7C3K5						
Гартування 1130 °С + відпуск 540 °С	65-65,5	3,4	15	3050	3275	2725
28X6B3M1Φ8C2K5						
Гартування 1130 °С + відпуск 500 °С	67-67,5	3,6	7,5	1850	3000	2200

При аналізі отриманих даних потрібно зважати на те, що важливим є врахування саме комплексу властивостей для оцінки експлуатаційної стійкості штампового інструменту з кожної сталі. Тобто, наприклад, сталь може мати високі значення характеристик міцності і добре протистояти пластичній деформації, але якщо низька її ударна в'язкість, то штамповий інструмент буде передчасно виходити з ладу внаслідок крихкого руйнування.

Загальним чином, за даними табл. 3.2, можна дійти висновку, що найбільш сприятливий комплексом основних показників має економно легована сталь 20X5B3M2Ф5C3K3. Сталі, що мають більшу кількість карбідоутворюючих елементів (ванадію, вольфраму) і кобальту при рівному і навіть більш високому опорі пластичної деформації ($\sigma_{0,05}$, $\sigma_{0,2}$) поступаються їй за рівнем міцності при згинанні або ударної в'язкості. Це відповідає результатам металографічних досліджень (рис 3,1).

3.4 Вплив на властивості вмісту кисню в сталях

При отримання сталей методом порошкової металургії виникає небезпека окислення порошків і, відповідно, потрапляння в сталь високого вмісту кисню. В результаті присутності великої кількості оксидів в структурі суттєво знижуються як характеристики пластичності, так і міцності сталей. Це потребує окремого дослідження зміни властивостей сталей досліджуваного типу. Відповідна робота виконана при порівнянні властивостей сталей № 8 та № 9 (див. табл. 2.1) однакового марочного складу (17X4B3Ф5C2M) з різним вмістом кисню: 0,024% в сталі № 8 та 0,42% в сталі № 9. Тобто за вмістом кисню відмінність в 2 рази більшою в сталі №9. Визначали міцність сталей при згинанні ($\sigma_{3г}$) після циклічного втомного силового навантаження зразків стисканням, що певним чином моделює умови роботи холодноштампового

інструменту. Навантаження змінювали в межах 1000-3000 МПа, кількість циклів дорівнювала 10000. Отримані результати наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вплив вмісту кисню в сталях типу 17Х4В3Ф5С2М на їх опір втомної ушкоджуваності (після циклічну міцність при згинанні)

Вміст кисню у сталі, %	Значення σ_{zg} після дії циклічних напруг стиснення, МПа					
	1000	1250	1500	1750	2000	2500
0,024	1750	1610	1500	130	1040	500
0,042	1620	1430	1120	750	250	90

З отриманих даних видно, що збільшення ступеня окисленості металу різко знижує опір порошкових сталей втомної ушкоджуваності, обмежуючи, тим самим, можливість їх застосування як матеріали важконавантаженого інструменту холодного об'ємного деформування. Особливо значно σ_{zg} зменшується при циклічному навантаженні більше 1500 МПа. Так, наприклад, якщо післяциклічна міцність на згин сталі з 0,024% кисню після дії заданого числа циклів при нарузі стиснення 2000 МПа становить 1040 МПа, то для сталі з 0,042% кисню вона не перевищує 250 МПа, тобто знижується в 4 рази.

Таким чином виконані дослідження свідчать про недоцільність використання холодноштампової порошкової сталі з вмістом кисню більше 0,020% для виготовлення пуансонів і виштовхувачів зворотного (комбінованого) видавлювання та інших холодноштампових інструментів, що експлуатуються при питомих тисках до 2000 МПа.

3.5 Обговорення отриманих результатів та рекомендації

Виконані експерименти та узагальнення раніше отриманих результатів дозволяє рекомендувати як матеріали важконавантаженого інструменту

холодного деформування порошкові сталі типу 20X5B3M2Ф5C3K3, що володіють високим рівнем основних та технологічних властивостей. Разом з тим, необхідно проведення спеціальних досліджень, спрямованих на встановлення впливу кисню на опір втомній ушкоджуваності сталей і встановлення максимально допустимих кількостей цього елемента в матеріалах штампів, що зазнають тривалого впливу значних циклічних напруг.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при легуванні порошкових сталей та визначенні їх структурі та властивостей.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Небезпеки які пов'язані з порушенням роботодавцем вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцем охорони праці працівників». А саме: вимог щодо облаштування виробничих приміщень, що може бути пов'язано з втратою конструктивної міцності будівель та споруд, незабезпеченням придатних метеорологічних умов, перевищенням граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин, недостатнього рівня освітлення.

б) Можливість ураження електричним струмом, при виконанні службових обов'язків внаслідок порушення правил з електробезпеки, несправності енергоспоживаючого обладнання, відсутності групових або індивідуальних засобів захисту, що може призвести до електричних травм або летального наслідку.

в) Небезпеки, пов'язані з визначенням хімічного складу дослідних матеріалів методами спектрального аналізу з використанням спектрофотометрів. Основними небезпеками є: потужні електронне та оптичне випромінювання при спектральному аналізі.

г) Небезпеки які пов'язані з виготовленням дослідницьких виробів методом пресування порошкових матеріалів, спікання отриманих виробів, що може бути пов'язано, з механічними травмами при пресуванні та термічними опіками при спіканні.

д) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до подальших випробувань що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом (НПАОП 28.0-1.30-12) зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм.

е) Небезпеки які пов'язані з дослідженням структури металу методом оптичної металографії з використанням оптичних мікроскопів зокрема: ушкодження органів зору при хибній комбінації світлофільтрів, об'єктивів та окулярів.

є) Можливість отримання механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості, механічних та технологічних властивостей та при безпосередніх випробуваннях. Основними небезпеками можуть бути: використання застарілого та небезпечного обладнання, порушення умов проведення випробувань.

ж) Небезпеки які пов'язані із обробкою результатів досліджень із використанням ПК, зокрема ушкодження кістково-м'язового апарату внаслідок довготривалої роботи в однотипній позі, що може призвести до зниження працездатності та розвитку професійних захворювань.

з) Незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань.

і) Невідповідність вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору.

к) Можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, які зазначені в НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні», а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі.

л) Небезпеки які пов'язані з умовами надзвичайних ситуації.

4.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Згідно вимог НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» передбачено:

Виробниче приміщення повинні мати достатню площу і висоту, для раціонального планування робочих місць відповідно до СНиП 2.09.04 – 87 «Административные и бытовые здания» та СНиП 2.09.02 – 85 «Производственные здания».

Конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень.

б) Згідно вимог НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» для безпечного проведення робіт необхідно виконати наступні організаційні заходи:

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт;
- видати наряд або розпорядження;
- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;
- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;
- забезпечити нагляд при виконанні робіт;
- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;
- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

До основних заходів захисту людини від ураження електричним струмом, відносять:

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;
- електричний розподіл мережі;
- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустаткування, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;
- використання малих напруг;
- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;
- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;
- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;
- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Усе технічне обладнання повинно бути заземлено з опором заземлюючого контуру $4 - 10 \text{ Ом}$ (ПУЕ-2015). Обов'язковим є щоденна перевірка щільності заземлювачів, не рідше як 2 рази на рік перевірка контактів та електричних з'єднань, ремонт обладнання проводять особи які мають кваліфікаційну групу не менше 3. Передбачається використання тільки подвійної ізоляції провідників (ПТБЕ) класу IP44.

Стосовно розташування струмоведучих частин на недоступній висоті (до 1000 В – не менше 3,5 м; більше 1000 В – не менше 6 м). Усі неізольовані струмопровідні лінії повинні бути надійно огорожені, відкриття можливо тільки за допомогою спеціальних пристроїв.

в) Заходи безпеки при визначенні хімічного складу дослідних матеріалів методом спектрального аналізу.

Фізичні основи цього методу заснований на якісному та кількісному визначенні атомного і молекулярного складу розчину по їх спектрам.

Основою цих методів є введення зразків в джерело жорсткого випромінювання де відбувається збудження атомів та їх перетворення в спектральне світіння, таким чином, такою основною небезпекою є шкідливий вплив електромагнітного або рентгенівського випромінювання.

Передбачено:

- необхідно в повній мірі володіти даними з інструкції з експлуатації. Наприклад неприпустимим є перевищення номінальної напруги значення якої призначено для певних видів матеріалів;

- особи, що працюють із спектрометрами повинні мати кваліфікацію групи з електробезпеки не нижче 3, передбачене більш часте проведення медичних оглядів, передбачення захист часом;

- робоча камера, де відбувається сам процес виконується з особливих матеріалів, герметичних.

Сучасна конструкція спектрометрів передбачає розподіл зони встановленого устаткування до зони де розташовується робоче місце

г) Отримання механічних травм є основною небезпекою при холодному та гарячому деформуванні, що визначається наступним: наявністю частин технологічного обладнання, які рухаються та обертаються, станом вихідних матеріалів, особливостями технологічних прийомів формо змінювання.

Однак, заходи безпеки при холодному та гарячому деформуванні мають принципові відмінності, які визначаються технологіями виконання цих операцій.

Аналіз причин отримання механічних травм при холодному деформуванні та заходи безпеки:

- недосконалість конструктивних рішень кріплення штампів на технологічному обладнанні, зокрема, ненадійність кріплення штампів та їх вузлів до пресу;

- недосконалість конструкцій штампів, зокрема, відсутність зазорів безпеки між рухомими та нерухомими частинами штампів; відсутність технологічних отворів або інших конструктивних елементів для безпечного розміщення заготовок у штампі та безпечного вилучення деталей із них; відсутність атестації штампів та їх маркування за ступенем безпеки;

- відсутність надійних огорожень зони деформування; відсутність захисних пристроїв запобігання аварійних ситуацій;

- порушення правил з охорони праці при виконанні операцій формо змінювання;

- можливість отримання механічних травм внаслідок гострих кромek, заусенців на отриманих деталях або розсипання заготовок.

Для виключення термічних опіків передбачено використання індивідуальних захисних засобів, зокрема, рукавиці брезентові – ГОСТ 12.4.010-75 ССБТ «Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные.».

д) Для виключення механічних травм при підготовці зразків передбачено:

При необхідності проведення токарної, фрезерної, шліфувальної обробки обов'язковим є виконання інструкцій з експлуатації та техніки безпеки при використанні відповідного обладнання. Відносно безпеки виконавців обов'язковим є використання індивідуальних засобів захисту: окуляри (ГОСТ 12.4.013-85), спецодяг (ГОСТ 12.4.049-78) та спецвзуття (ГОСТ 28507-99).

У відповідності з НПАОП 28.0-1.30-12 «Правила охорони праці під час роботи з абразивними інструментами»:

- при установці абразивного круга необхідно між фланцями і кругом встановити прокладки з картону або другого еластичного матеріалу товщиною 0,5 – 1 мм;

- перед початком роботи круг, встановлений на верстат повинен бути перевірений на ходу при робочому числі обертів;

- роботу можна починати тільки впевнившись в тому, що круг не має биття, а биття шпинделя шліфувального станка не перевищую 0,03 мм;

- захисний екран повинен бути заблокований з пусковим механізмом який включає можливість пуску станка при піднятому екрані.

На підприємствах де застосовується абразивний інструмент повинні бути інструкції:

- по установці і експлуатації абразивного інструменту;
- по випробуванні кругів на міцність.

Для підтримки виробів які подають до шліфувального круга вручну, повинні застосовуватися підручники або пристосування які їх замінюють. Підручники повинні переміщатись, що дозволяє встановлювати їх встановлювати в необхідному положенні по мірі стирання круга.

Заходи захисту при використанні абразивного інструменту: абразивні кола повинні мати штамп про випробування на експлуатаційну надійність. Кожний верстат повинен мати табличку зі значенням допустимої колової швидкості, що дає змогу використовувати тільки ті абразивні кола, допустима колова швидкість яких в межах зазначених на табличці.

е) При визначенні типу структури використовується горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі. Освітлення здійснюється від лампи розжарювання яка забезпечує направлений світловий потік.

Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур.

Крім правильної комбінації об'єктів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило, при роботі з об'єктами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри, а з апохроматами можна працювати і без них.

Об'єктиви-ахромати мають корекцію тільки для середніх кольорів видимої частини спектра, з цієї причини при білому світлі вони дають зображення з не

чіткими контурами ,пофарбованими головним чином по краю поля зору . Щоб погасити всі кольори ,в яких об'єкт не має корекції ,застосовують жовто-зелений світлофільтр .З огляду на те,що об'єктиви-апохромати мають корекцію майже для всіх кольорів видимої частини спектра ,жовто-зелені світлофільтри для них зайві.

є) Для уникнення механічних травм внаслідок порушень правил з охорони праці при підготовці зразків для випробування твердості, механічних та технологічних властивостей та при безпосередніх випробуваннях, необхідно працювати на справному верстаті, своєчасно проводити заміну деталей, термін експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають.

ж) Інтенсивна робота з персональними комп'ютерами, обладнаними візуальними дисплейними терміналами є причиною виникнення багатьох захворювань.

Робота користувача ПК виконується в одноманітній позі в умовах обмеження загальної м'язової активності при рухливості кистей рук, великому напруженні зорових функцій і нервовоемоційній напрузі під впливом наступних фізичних факторів:

- електростатичного поля;
- електромагнітних випромінювань у наднизькочастотному, низькочастотному та середньо частотному діапазонах (5 Гц – 400 кГц);
- рентгенівського, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань;
- випромінювань видимого діапазону;
- акустичного шуму;
- незадовільного рівня освітленості;
- незадовільних метеорологічних умов.

Особливе місце серед профзахворювань користувачів ПК займають порушення зору, викликані:

- нераціональним освітленням;
- світлотехнічною специфікою робочих місць із ПК;
- недотриманням режиму праці.

Робота користувача ПК вимагає тривалого статичного напруження м'язів спини, ший, рук і ніг, що призводить до втоми і специфічних скарг.

Можливе ушкодження хребта, в результаті недостатнього рівня ергономічності робочого місця користувача, тобто якщо крісло неправильно підтримує згин хребта. При цьому плечі і шия напружені і затікають, внаслідок неприродного положення, тому виникають болі в області ший, спини і голови. В середньому працівник, який використовує ПК, просиджує в такому положенні за все своє життя до 80000 годин (8 років).

Неправильне положення рук при введенні даних за допомогою клавіатури (зап'ястя при наборі підняті вгору) призводить до перетискання нервів у вузьких місцях зап'ястя (синдром зап'ястного каналу).

Синдром RSI (хронічне розтягнення зв'язок) – це пошкодження, що виникає в результаті постійного напруження м'язів кистей рук як результат неправильно обладнаного з погляду ергономіки робочого місця користувача ПК. Це хронічне захворювання може непомітно розвиватися протягом декількох років. Такі перевантаження призводять до перенапруження всієї м'язової системи людини.

Найбільш небезпечним є те, що внаслідок концентрації уваги на екрані монітора притуплюється своєчасне попередження про болі, які є тривожним сигналом для тіла. Захворювання рук і кистей рук спостерігається у працюючих за ПК у 7-12 разів частіше, ніж у інших, і досить часто помилково діагностується як запалення сухожилів.

Робота за ПК – це робота з особливо відчутною монотонністю: більше ніж 600 однакових дій упродовж 75% робочого часу за 1 годину.

Монотонність роботи, не ергономічність робочого місця та електромагнітні випромінювання призводять до захворювань загально-невротичного характеру у

вигляді підвищеної загальної втоми, головного болю, відчуття важкості голови, поганого сну.

Стійкі нервово-психічні порушення у вигляді підвищеної роздратованості, відчуття неспокою, метушливості (збуджений тип), депресивних станів, загальної скутості в роботі, зменшення швидкості реакцій (гальмівний тип), ймовірно, викликані електромагнітними хвилями, які випромінює ПК і монітор.

Вплив електромагнітного випромінювання наднизьких і низьких частот на організм людини вивчено недостатньо, і дослідження в цьому напрямку тривають, але дія електромагнітних полів цих частот на біологічні об'єкти, особливо мозок, вже відома – вона може викликати утворення пухлин.

4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

з) Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних).

Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона.

Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно.

Необхідно враховувати, що:

- для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;
- для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року;

- в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 °С, допустима 17-23 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60%, допустима 75%; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не більше 0,3 м/с;

- в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 °С; допустима відносна вологість: 75%; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с;

- в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 °С, допустима 18-27 °С; відносна вологість: оптимальна 40-60%, допустима 40-60%; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с;

- в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 °С; допустима відносна вологість: 65% при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування та опалення, які забезпечують підтримку передбачених параметрів мікроклімату і чистоти повітря.

і) Виробниче освітлення організується і нормується згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення», залежно від:

- розряду зорової роботи, тобто її характеристики (найменшого розміру об'єкта який різниться, світлості фону, контрасту об'єкта з фоном);
- виду і системи освітлення.

Освітленість від системи загального освітлення повинна складати не менше 200 лк при розрядних лампах і 100 лк при лампах розжарювання. Створювати освітленість більше 750 лк при розрядних лампах і 300 лк при лампах розжарювання дозволяється тільки за наявності обґрунтування; Освітленість від світильників загального освітлення в системі комбінованого підвищувати на один ступінь за шкалою освітленості.

4.4 Заходи з пожежної безпеки

к) Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Розробку заходів з пожежної безпеки починають з аналізу речовин і матеріалів, що використовуються при роботі на об'єкті, з метою визначення класу можливої пожежі (А, В, С, D, F, E) згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» та категорії його пожежної небезпеки, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания». Тобто указати до якої категорії виробництва з пожежної небезпеки (А, Б, В, Г, Д) належить об'єкт (дослідницька лабораторія, конструкторське бюро, дільниця, підстанція, цех, тощо).

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», указати ступінь вогнестійкості приміщення об'єкта.

Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

Максимальну відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу визначають згідно СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания».

Відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж вимогам пожежної безпеки в першу чергу залежить від відповідності ступеня захисту їх оболонок (ІР) класу пожежанебезпечної зони (П-I, П-II, П-III и П-III) визначених згідно НПА ОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок».

Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». В даний час можуть використовуватися:

- охоронно-пожежна сигналізація (ОПС) неадресного типу;
- порогові охоронно-пожежна сигналізація;
- адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація.

4.5 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

л) Укриття населення в захисних спорудах цивільного захисту.

До захисних споруд цивільного захисту належать:

- сховища;
- протирадіаційні укриття (ПРУ);
- швидкостроювані захисні споруди цивільного захисту.

Також для захисту людей від небезпек, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій у мирний час або у разі впливу засобів ураження в особливий період – використовуються споруди подвійного призначення та найпростіші укриття.

Для вирішення питань щодо укриття населення в захисних спорудах цивільного захисту, завчасно створюють фонд захисних споруд. Цей фонд створюють центральні органи виконавчої влади, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування та суб'єкти господарювання.

Проектування, будівництво, пристосування і розміщення захисних споруд та об'єктів подвійного призначення здійснюються згідно з нормами, які розробляються відповідно до Закону України «Про будівельні норми».

Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд визначаються Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Тенденція розвитку світового ринку технологій

Багато машинобудівних підприємств у сучасних економічних умовах прагнуть безвідходного виробництва, розширення номенклатури виробів, що виготовляються та підвищення якості готової продукції з найменшими капітальними вкладеннями. Це відноситься і до виробництва порошкових виробів, які мають унікальні властивості і широко використовуються в електроніці, військовій та авіаційній промисловості, а також в медицині.

Необхідність вирішення цих питань свідчить про доцільність проведення подальших досліджень, спрямованих на підвищення техніко-економічних параметрів процесу пресування порошкових виробів та вдосконалення їх властивостей міцності.

Розвиток пресових інструментів – один із найважливіших чинників модернізації промисловості країн СНД, проте виробництво нових інструментів, необхідних для системних зрушень, відстає від запитів ринку. Існує проблема у переоснащенні виробничих потужностей сучасним обладнанням, яке б відповідало ринковим і технічним вимогам сучасності, також необхідні зрушення у розробці та впровадженні інновацій та наукових розробок у даній галузі. Постійно зростаючі ціни на сировину та енергоносії, вимагають підприємства постійно збільшувати рівень продуктивності свого технічного оснащення, тим самим зменшуючи свої витрати на виробництво.

Сучасний розвиток металургії та машинобудування нерозривно пов'язаний із створенням нових ефективних технологій та обладнання. Це також відноситься до виробництва деталей із металевих порошків. Процес виготовлення виробів шляхом пресування металевих порошків та подальшого спікання належить до найпрогресивніших технологій машинобудування. Ця технологія дозволяє отримувати вироби з унікальними властивостями при максимальному використанні сировини.

5.2 Послідовний аналіз

Надано цілісне уявлення про зміст ідеї, виконаю аналіз напрямків застосування та вигоди для споживачів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Розробка раціонального легування порошкової холодноштампової сталі з підвищеним опором зминанню	1 Виготовлення деталей складного профілю в авіаційному виробництві	Підвищення надійності холодноштампової сталі
	2 Підвищення ефективності холодного деформування на машинобудівних підприємствах	Підвищення строку експлуатації та міжремонтного ресурсу

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	1 Підприємства машинобудування України 2 Підприємства машинобудування Європи
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Потрібні великі інвестиції, велика конкуренція
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1 Сертифікація обладнання 2 Вимоги авіаційних правил

Визначені потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформований орієнтований перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Порошкові холодноштампові сталі	Підприємства машинобудування України та Європи	Робота в умовах циклічного навантаження	Надійність, підвищення строку експлуатації та міжремонтного ресурсу

Виконаний SWOT-аналіз середовища реалізації інноваційного проекту. Результати аналізу приведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT-аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
– відомий бренд – кваліфікований персонал – помірна цінова політика – клієнтська база	– текучість кадрів – спосібність до інновацій – повільний ріст прибутку – консерватизм системи управління
Можливості:	Загрози:
– розвиток дилерської мережі – вихід на світові ринки – випуск нових моделей двигунів – відхід конкурентів з ринку	– поява нових конкурентів – зростання цін на сировину – цінова конкуренція – велика ціна нових технологій

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Придбання нових зразків	Зацікавлені у підвищеному строку експлуатації	1.000	Конкуренція зростає	Пов'язана з великими інвестиціями
Ремонт раніше придбаного	Зацікавлені у вдосконаленні матеріалів	10.000	Монополісти	Пов'язана з великими інвестиціями

Виконана ідентифікація стейкхолдерів, виконана їх пріоритизація та побудована карта стейкхолдерів, яка дозволить візуалізувати картину взаємозв'язків стейкхолдерів. З метою відображення взаємозв'язків стейкхолдерів на карті відокремлено три концентричних області, в яких розміщено всіх зацікавлених осіб інноваційного проекту за можливостями впливу на них ініціатора проекту. Область внутрішніх стейкхолдерів – область повноважень/відповідальності ініціатора. Внутрішні зацікавлені сторони знаходяться в прямій підлеглості ініціатора, що дозволяє використовувати досить прості методи адміністрування проекту (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 – Карта стейкхолдерів

Визначили витрати на оплату праці з урахуванням балансу робочого часу одного працівника. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні досліджень (табл. 5.6).

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.7).

Таблиця 5.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн.	Преміальний відсоток до окладу, %	Сума премій, грн.	Місячна заробітна плата, грн.	Річний фонд оплати праці, грн.	ЄСВ, грн.
Науковий керівник	1	25000	20	5000	30000	360000	79200
Старший науковий співробітник	1	20000	20	4000	24000	288000	63360
Молодший науковий співробітник	2	15000	20	3000	18000	432000	95040
Лаборант	3	12000	20	2400	14400	518400	114048
Разом	7	111000	—	22200	133200	1598400	351648

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.
Папір	10 блоків	120	1200
Ручка	100 одиниць	20	2000
Олівець	100 одиниць	10	1000
Зразки	450 кг	600	270000
Реактиви	20 кг	120	2400
Змінні лінзи	10 одиниць	3200	32000
Тара зразків	30 одиниць	50	1500
Разом	—	—	310100

Розрахунок вартості спожитих послуг. До цієї статті належать витрати на електропостачання, водопостачання тощо (табл. 5.8).

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн.
Електропостачання	5000 кВт	2,64 грн./ кВт	13200
Водопостачання	60 м ³	25 грн./м ³	1500
Теплопостачання	10 Гкал	1380 грн./Гкал	13800
Охоронна система	1	5000 грн.	5000
Утилізація реактивів	20 кг	50 грн./кг	1000
Разом	—	—	34500

Визначили річну суму амортизації з урахуванням первісної вартості основних засобів та норми амортизації при терміні експлуатації у 5 років (табл. 5.9).

Таблиця 5.9 – Розрахунок амортизації

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ, грн.	Вартість обладнання, грн.	Річні амортизаційні відрахування, грн.	Витрати на поточний ремонт, грн.
1	2	3	4	5	6
Металографічний мікроскоп	1	650000	650000	130000	13000
Електронний мікроскоп	1	1200000	1200000	240000	24000
Прилад для контролю хімічного складу сплавів	1	1650000	1650000	330000	33000

Продовження таблиці 5.9

1	2	3	4	5	6
Установка для контролю вмісту газів	1	100000	100000	20000	2000
Установка для циклічного стиснення	1	2000000	2000000	400000	40000
Комп'ютер	4	25000	100000	20000	2000
Принтер	2	15000	30000	6000	600
Разом	—	—	5730000	1146000	114600

В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн.
Фонд заробітної плати, рік	1598400
ЄСВ, рік	351648
Матеріальні витрати, рік	310100
Вартість спожитих послуг, рік	34500
Амортизація обладнання, рік	1146000
Поточний ремонт, рік	114600
Виробнича собівартість	3555248
Адміністративні витрати, 50%	799200
Інші витрати, 80%	1278720
Повна собівартість	5633168

У ряді випадків при поліпшені якості продукції її собівартість зростає, а ціна залишається незмінною, хоча збільшується термін служби нового виробу. У такому випадку річний економічний ефект може бути розрахований за формулою:

$$E_r = (C_c - C_n \times T_c / T_n) \times N, \text{ грн.}$$

де C_c , C_n – собівартість одиниці старого та нового виробу, грн.;

T_c , T_n – термін служби старого та нового виробу;

N – річний випуск виробів, шт..

В результаті використання раціонально легованої порошкової холодноштампової сталі з підвищеним опором зминанню ми збільшуємо термін служби нового штамп на 20%. Гарантійний ресурс штамп збільшується з 10000000 ударів до 12000000 ударів, а собівартість залишається незмінною, 70000 грн. за штамп. Річний економічний ефект складає:

$$E_r = (70000 - 70000 \times 10000000 / 12000000) \times 1000 = 11666666,67 \text{ грн.}$$

Науково-технічна продукція користується попитом, оскільки вона безпосередньо пов'язана, з одного боку, з вдосконаленням і розвитком діючих виробництв з метою підвищення їх технічного рівня та економічної ефективності, а з іншого боку, з оновленням випускної продукції, з налагодженням виробництва нових конкурентне спроможних виробів.

При розробці науково-дослідної роботи були послідовно проаналізовані: зміст ідеї, що пропонується, можливі напрямки застосування ідеї та основні вигоди для споживачів; характеристики потенційного ринку; потенційні групи клієнтів, їх характеристики, орієнтований перелік вимог до товару; середовище реалізації інноваційного проекту; цільові групи потенційних споживачів. Виконана ідентифікація стейкхолдерів, виконана їх пріоритизація та побудована карта стейкхолдерів.

При розрахунку витрат на науково-дослідну роботу було враховано кількість усіх основних матеріалів; допоміжних матеріалів; вартості спожитих послуг; спеціальне устаткування; металографічні дослідження та випробування, а також на заробітну плату для працівників.

Згідно з даними розрахунків, що актуальні на момент написання дипломної роботи магістра, було встановлено цінність матеріалів використаних в дослідженні (основних і допоміжних) та інших витрат та розраховано загальну вартість витрат в ході проведення науково-дослідної роботи, що в підсумку становить 5633168 грн., а при виготовленні партій штампів у кількості 1000 одиниць, річний економічний ефект складає 11666666,67 грн..

ВИСНОВКИ

1. Обрано хімічні склади дослідницьких холодноштампових сталей для отримання методом порошкової металургії.
2. При найбільш високому вмісту легувальних елементів в структурі досліджуваних сталей суттєво зростають розміри частинок карбідних фаз, що здатне зменшити експлуатаційні характеристики холодноштампового інструменту.
3. Показано, що усі досліджувані сталі мають високу стійкість проти перегріву, зберігаючи дрібне зерно аустеніту з номером не нижче 11 навіть після гартування від температури 1200 °С.
4. Кількість залишкового аустеніту в сталях після відпуску при температурах 520-560 °С порівняно з загартованим станом зменшувалась з 40-55 % до 3-5 %, а твердість зростала від 60-63 HRC до 66-67 HRC.
5. Встановлена схильність сталей до дисперсійного твердіння і зростання зміцнення за рахунок нього при збільшенні температури гартування та при старінні в області температур 520-540 °С.
6. За даними значення твердості, випробування на згин, стискання та ударну в'язкість можна дійти висновку, що найбільш сприятливому комплексу основних показників відповідає економно легована сталь 20X5B3M2Ф5C3K3 та сталь 18X4B5M2Ф5C3K3.
7. Збільшення вмісту кисню в порошковій сталі з 0,024% до 0,42% різко знижує опір порошкових сталей втомної ушкоджуваності, обмежуючи, тим самим, можливості їх застосування як матеріалів важконавантаженого інструменту холодного об'ємного деформування.
8. Розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.
9. Оцінена економічна ефективність виконаних досліджень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Позняк Л.А. Штамповые стали: монография / Л.А. Позняк, Ю. М. Скрынченко, С.И. Тишаев. – Москва: Металлургия, 1980. – 244 с.
2. Куцова В.З. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями: Підручник / В.З. Куцова, М.А. Ковзель, О.А. Носко. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.
3. Сторожев М. В. Ковка и объемная штамповка стали: монография: в 2 т. / М. В.Сторожев. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 1. – 360 с.
4. Позняк Л.А. Штамповые стали для холодного деформирования: монография. / Л.А. Позняк. – М.: Металлургия, 1966. – 147 с.
5. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов: монография. / М.Л. Бернштейн. – М.: Металлургия, 1968. – Т.1. – 596 с.
6. Маковей В.О. Дослідження стійкості штампів, зносостійкості та тріщиностійкості матеріалів / В.О. Маковей // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. – 2009. – № 60. – С. 39–44.
7. Маковей В.О. Підвищення стійкості роздільних штампів / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. – 2004. – № 45. – С. 35–38.
8. Маковей В.О., Бородій Ю.П. Вплив поверхневого зміцнення на характер зношування ріжучих кромок / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування. – 2007. – № 50. – С. 111–117.
9. Маковей В.О., Стійкість карбувальних штемпелів / В.О. Маковей, М.П. Стародуб // Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. Краматорськ. –2005. – С. 599-601.
10. Маковей В.О. Проблеми підвищення стійкості карбувальних штемпелів / В.О. Маковей, М.П. Стародуб, В.Л. Калюжний, М.С. Шидловський, В.В. Стафієнко // Обробка матеріалів тиском. –2008. – № 1(19). – С. 316-322.

11. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии: монография. / Г.А. Либенсон. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.
12. ДСТУ EN ISO 6508-1:2013 (EN ISO 6508-1:2005, IDT) Металеві матеріали. Визначення твердості за роквеллом. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 21 с.
13. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: навч. посібник / С.С. Дяченко. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
14. Канюка В.І. Довідник з інструментальних сталей: навч. посібник / В.І. Канюка, В.Н. Терехов, А.Н. Мороз. – Харьков: «Металика», 2008. – 224 с.