

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет

(повне найменування факультету)

Фізичне матеріалознавство

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Розробка інженерних рішень для удосконалення термічної обробки деталей газотурбінних двигунів з титанових сплавів

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ232м

Спеціальності 132 Матеріалознавство

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Прикладне матеріалознавство

~~Оржеховський С.В.~~

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КЛИМОВ О.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний факультет

Кафедра Фізичне матеріалознавство

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20 ____ року

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

ВОЛКОВ Микита Сергійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження термічної обробки штампових сталей з метою проектування термічного відділення інструментального цеху для виготовлення штампового інструменту із річною програмою виготовлення 150 тонн

керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н Климов Олександр Володимирович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « _____ » _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) умови експлуатації штампів для гарячого деформування, зразки зі сталі 4X5МФ1С

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз літературних джерел, матеріали та методика, експериментальна частина, розрахунок економічної ефективності, охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) план термічного відділення, презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
2	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
3	КЛИМОВ О.В доцент, к.т.н		
4	КРУГЛІКОВА В.О, доцент, к.т.н		
5	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н		
НК			

7. Дата видачі завдання « _____ » _____ 20__ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел		
2	Матеріали та методика досліджень		
3	Експериментальна частина		
4	Економіко-організаційна частина		
5	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		
	План термічного відділення		

Студент(ка)

_____ Микита ВОЛКОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ Олександр КЛИМОВ
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 86 с., 19 табл., 16 рис., 2 додатки, 14 джерел.

ШТАМПИ ГАРЯЧОГО ДЕФОРМУВАННЯ, МАТРИЦЯ, ТЕПЛОСТІЙКІСТЬ, ДИСПЕРСІЙНЕ ТВЕРДІННЯ, ВІДНОСНА ПОХИБКА, КОЕФІЦІЄНТ СТЬЮДЕНТА, ТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

Метою проектування термічного відділення інструментального цеху для виготовлення штампового інструменту присвячений комплексному вивченню процесів термічної обробки штампових сталей та розробці оптимального термічного відділення для інструментального цеху.

Зараз, в умовах постійного розвитку технологій та зростаючої конкуренції на ринку, важливо вдосконалювати виробничі процеси, зокрема ті, які стосуються виробництва інструментів. Штампові сталі, що використовуються для виготовлення інструменту, піддаються термічній обробці з метою забезпечення необхідних механічних властивостей, таких як твердість та міцність.

Основна мета дослідження - визначення оптимальних параметрів термічної обробки для досягнення оптимальних властивостей штампових сталей, що використовуються для виробництва інструментів. Зокрема, дослідження включає аналіз впливу температури обробки, часу утримання та способу охолодження на структуру та механічні характеристики матеріалу.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналітичний огляд літератури.....	8
1.1 Класифікація інструментальних сталей.....	8
1.1.1 Вимоги, що висуваються до штампових сталей	10
1.2. Вплив легувальних елементів на структуру та властивості штампових сталей.....	13
1.3 Термічна обробка штампових сталей для гарячого деформування.....	22
2 Матеріали та методика досліджень	28
2.1 Зразки та хімічний склад досліджуваної сталі.....	28
2.2 Дослідження мікроструктури	29
2.3 Дослідження механічних властивостей.....	30
2.4 Визначення зносостійкості.....	31
2.5 Оцінювання помилки вимірюваних величин.....	32
3 Експериментальна частина	34
3.1 Вплив температури гартування на структуру і твердість сталі 4X5МФ1С	34
3.2 Вплив температури відпускання на властивості сталі 4X5МФ1С.....	37
3.3 Вплив температури відпуску на зносостійкість	39
3.4 Розрахунки кількості обладнання для виконання кожної операції термічної обробки	43
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	49
4.1 Аналіз потенційних небезпек	49
4.2 Заходи забезпечення безпеки.....	51
4.3 Заходи забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	58
4.4 Заходи з пожежної безпеки	60
4.5 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях	61
5 Економіко-організаційна частина.....	63

	6
5.2 Послідовний аналіз	65
Висновки	76
Перелік джерел посилань	77
Додаток А.....	79
Додаток Б.....	

ВСТУП

Сучасна індустрія вимагає від підприємств постійного підвищення ефективності виробничих процесів та вдосконалення виробничих технологій для досягнення високих стандартів якості та конкурентоспроможності. Однією з ключових складових виробничого процесу є використання штампових сталей у виготовленні інструменту для формування деталей. Оптимальне використання цих матеріалів вимагає комплексного дослідження, зокрема в аспекті термічної обробки, яка визначає фізичні та механічні властивості сталі.

Цей дипломний проєкт спрямований на проведення детального дослідження термічної обробки штампових сталей з метою оптимізації процесів та проектування термічного відділення інструментального цеху. Відповідне термічне відділення є критичним компонентом для забезпечення сталевих інструментів необхідними властивостями, такими як твердість, міцність та стійкість до зношування.

Під час виконання проєкту буде вивчено вплив різних параметрів термічної обробки на структуру та властивості сталей, визначено оптимальні режими обробки для досягнення високої якості інструменту. Крім того, буде проведено аналіз технічних та економічних аспектів проектування термічного відділення інструментального цеху з урахуванням сучасних тенденцій та стандартів в області виробництва штампових інструментів.

Результати цього дослідження та проектування будуть служити основою для оптимізації виробничого процесу, підвищення якості виробленого інструменту та зниження виробничих витрат, що в свою чергу сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Класифікація інструментальних сталей

Число інструментальних сталей вельми значне і вони мають різний хімічний склад. Однак класифікацію за складом можна використовувати лише як допоміжну; навіть за різного вмісту легувальних елементів багато інструментальних сталей мають близькі властивості.

Доцільно класифікувати інструментальні сталі за властивостями і за призначенням.

Інструментальні сталі за властивостями можна розподілити за трьома групами:

- 1) ті, що не володіють теплостійкістю;
- 2) напівтеплостійкі;
- 3) теплостійкі.

Сталі, що належать до різних груп, мало розрізняються за твердістю, міцністю і зносостійкістю за нормальних температур, але значно розрізняються за цими найважливішими властивостями під час нагрівання. Крім того, сталі, що володіють теплостійкістю, через вплив дисперсних частинок фаз-зміцнювачів мають вищий опір пластичній деформації (зокрема й за звичайних температур) [1].

Нетеплостійкі сталі зберігають високу твердість (>60 HRC) під час нагрівання не вище за $190...225^{\circ}\text{C}$ і використовуються для різання м'яких матеріалів з невеликою швидкістю. Це заєвтектоїдні та близькі до евтектоїдних вуглецеві й леговані сталі (з відносно невисоким вмістом легуючих елементів). Карбідна фаза їх - цементит, що коагулює за порівняно низьких температур.

Напівтеплостійкі сталі, переважно штампові, випробовують нагрівання робочої кромки до температур $400-500^{\circ}\text{C}$. Це - близькі до евтектоїдних сталі, леговані хромом і додатково вольфрамом, молібденом і ванадієм, а також

ледебуритні сталі (12% Cr). Карбідні фази - легований цементит і карбід хрому (Me_{23}C_6 , Me_7C_3).

Теплостійкі сталі зберігають високу твердість до нагрівання на температури близько 600-650°C для швидкорізальних сталей (твердість 60-62 HRC) і 650-700°C для штампових сталей (твердість 45-52 HRC). Основна карбідна фаза - карбід вольфраму (молібдену) Me_6C , а у менш теплостійких штампових сталей також і карбід Me_{23}C_6 . У деяких сталей можливе інтерметалідне зміцнення [2].

Теплостійкі та напівтеплостійкі сталі, як високолеговані, є одночасно глибокопрожарювальними.

Залежно від умов експлуатації та необхідних властивостей інструментальні сталі класифікують таким чином:

- 1) сталі для ріжучих інструментів;
- 2) сталі для інструментів і деталей підвищеної точності;
- 3) штампові сталі для холодного деформування;
- 4) штампові сталі для гарячого деформування.

Сталі з карбідним зміцненням за підвищеного вмісту вуглецю ($>0,6\%$), що належать до ледебуритного класу, використовують для виготовлення ріжучих інструментів, які виконують різання твердих матеріалів або працюють із підвищеною швидкістю. Заевтектоїдні та доевтектоїдні сталі високої твердості, що не володіють теплостійкістю, застосовують в більш обмежених межах, коли нагрівання ріжучої кромки незначне. Заевтектоїдні сталі використовують для металорізальних і деяких деревообробних інструментів, а доевтектоїдні сталі, що мають більшу в'язкість, - головним чином для деревообробних інструментів, що зазнають ударних навантажень. Для спеціальних умов (хірургічні інструменти, бритви тощо) застосовують сталі, стійкі проти корозії, вони є напівтеплостійкими.

Для інструментів і деталей підвищеної точності використовують сталі підвищеної твердості, які як володіють, так і не володіють теплостійкістю (залежно від умов експлуатації). Ці сталі повинні мати додаткові властивості,

головна з яких - здатність набувати дуже чисту поверхню під час доведення і зберігати незмінними розміри і форму інструменту протягом тривалого терміну експлуатації.

Під час виготовлення штампів для холодного деформування використовують сталі високої твердості, а для деяких інструментів, що працюють зі значними динамічними навантаженнями, застосовують і сталі підвищеної в'язкості.

Під час виготовлення штампів для гарячого деформування використовують теплостійкі сталі підвищеної в'язкості, які забезпечують не тільки високі міцність і опір деформації штампа під час нагрівання, а й необхідний опір динамічним навантаженням і хорошу розгаростійкість. Ця важлива властивість штампової сталі досягається за достатніх в'язкості та пластичності [1,2].

1.1.1 Вимоги, що висуваються до штампових сталей

Для обробки металів тиском застосовують інструменти - штампи, пуансони, ролики, валики тощо, що деформують метал. Сталі, прийняті для виготовлення інструменту такого роду, називають штамповими.

Штампові сталі діляться на дві групи: ті, що деформують метал у холодному стані, і ті, що деформують метал у гарячому стані. Умови їхньої роботи сильно різняться між собою.

Наприклад, під час деформації в гарячому стані метал, що штампується, під дією половинок штампа, що зближують, деформується і заповнює внутрішню порожнину штампа. У роботі внутрішня порожнина ("фігура"), яка деформує метал, стикається з нагрітим металом, тому штампова сталь для гарячого штампування повинна володіти не тільки певними механічними

властивостями в холодному стані, а й досить високими механічними властивостями в нагрітому стані [3].

Зважаючи на численні та різноманітні вимоги, що висуваються до штамів залежно від призначення, для їх виготовлення застосовують сталі різних марок, починаючи від простих вуглецевих і закінчуючи складнолегованими.

Вимоги до штампових сталей для холодного деформування

До цієї групи належать інструменти, що змінюють форму матеріалу без зняття стружки, тобто головним чином штампи. Ці численні інструменти різноманітні за формою, розмірами і напруженим станом, що виникає в процесі експлуатації, що вимагає застосування різних сталей.

Основні вимоги, що висуваються до штампових сталей для холодного деформування, - високі міцність і зносостійкість. Решта властивостей, зокрема, в'язкість і прожарюваність визначаються умовами роботи, розмірами і формою виробів із них.

У процесі деформування з великою швидкістю інструмент може розігріватися до 200-350°C. Тому сталі такого класу повинні мати теплостійкість 400-500°C, для того, щоб забезпечити опір зім'яттю і пластичній деформації під час роботи. Для великого інструменту необхідно забезпечити високу прожарюваність і невеликі об'ємні зміни під час загартування. Найчастіше застосовують сталі марок: X12M, X12Φ1, X6BΦ, 7XГ2BM, 6X6B3MΦC [1].

Вимоги до штампових сталей для гарячого деформування:

Штампові сталі для гарячого деформування повинні мати певний комплекс властивостей. Розглянемо їх.

Теплостійкість. Високі жароміцні властивості не повинні знижуватися під тривалим впливом температури, метал повинен стійко чинити опір відпуску.

Жароміцність. Метал повинен володіти високою границею плинності і високим опором зносу при високих температурах, щоб уповільнити процеси

стирання і деформування елементів фігури інструменту, що розігріваються від зіткнення з гарячим оброблюваним матеріалом.

Термостійкість (розгаростійкість). Циклічний нагрів і охолодження поверхні інструменту під час роботи і, отже, розширення і стиснення поверхневих шарів, які чергуються, призводять до появи так званих розпалювальних тріщин. Для запобігання цьому явищу матеріал інструменту повинен мати високу розгаростійкість (високий опір термічній втомі).

В'язкість. Деформування металу під час штампування супроводжується ударними впливами цього металу на штампи, тому матеріал штампів повинен мати відому в'язкість для запобігання поломкам і викришуванню.

Зносостійкість.

Окалиностійкість. Вона необхідна, якщо поверхневі шари нагріваються вище за 600°C і особливо за 700°C ; у цих умовах окалиностійкість більшою мірою визначає зносостійкість.

Теплопровідність. Необхідна для кращого відведення тепла, що передається деформованою заготівлею.

Прогартованість. Багато інструментів мають великі розміри. Для отримання хороших міцнісних властивостей у нижчих шарах сталь інструменту повинна добре прожарюватися.

Відпускна крихкість. Оскільки швидким охолодженням інструментів великих розмірів не можна усунути відпускну крихкість, то необхідно вибирати сталь, мінімально чутливу до цієї вади.

Злипання. За значного тиску гарячий метал може «прилипати» до металу штампа (явище адгезії), і коли виріб, що штампується, віддирається від штампа, то він щоразу частково руйнує його поверхню. Руйнування буде виражено тим сильніше, чим більша адгезійна взаємодія.

Крім того, сталі для штампів, поверхневий шар яких сильно нагрівається (вище 600°C), повинні мати високі температури критичних точок.

Нагрівання робочих шарів штампа визначається не тільки температурою металу, що деформується, а й тривалістю контакту з ним і умовами охолодження.

1.2. Вплив легувальних елементів на структуру та властивості штампових сталей

Легування є одним з основних способів впливу на структуру і властивості інструментальних сталей і сприяє підвищенню працездатності інструменту.

Штампові сталі легують такими елементами як хром, вольфрам, молібден, ванадій, кремній і кобальт. Останніми роками з'явилися сталі з добавками титану, цирконію, ніобію тощо.

Розглянемо вплив основних легувальних елементів на властивості штампових сталей.

Вплив хрому

Хром позитивно впливає на низку характеристик штампових сталей (прожарюваність, схильність до вторинного твердіння, теплостійкість тощо). У міру підвищення його концентрації у твердому розчині істотно зростає стійкість аустеніту як у перлітній, так і в проміжній областях, якісно змінюється вигляд С-подібних кривих.

У хромистих сталях поряд із цементитом утворюється два спеціальні карбіди: гексагональний (тригональний) Me_7C_3 і кубічний Me_{23}C_6 (рисунок 1.1). Хром підвищує стійкість цих карбідів проти розчинення під час нагрівання і сприятливо впливає на чутливість до перегрівання сталей, що містять незначні кількості вольфраму і молібдену. У комплекснолегованих сплавах хром внаслідок підвищення фазового наклепу під час загартування і

безпосередньої участі у формуванні зміцнювальної фази сильно посилює ефект вторинного твердіння [4].

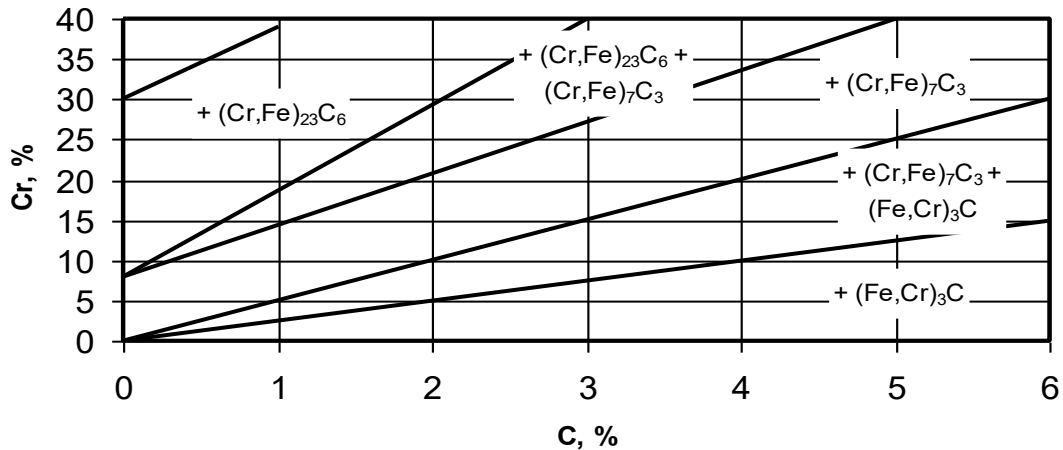


Рисунок 1.1 - Переріз діаграми стану системи Fe - Cr - C при 20°C

Хром сприяє збереженню високого опору пластичній деформації при нагріванні до 400-500°C. Межі міцності та плинності становлять 80% від їхніх значень при 20°C. Крім того, хром підвищує стійкість проти окислення під час нагрівання до 600-650°C і проти роз'їдальної дії низки середовищ.

У разі зниження вмісту хрому з 5 до 3% змінюється склад карбідних фаз; у сталі з 3% хрому присутні карбіди Me_3C поряд з карбідами $Me_{23}C_6$ і Me_6C , що трохи зменшує теплостійкість і межу плинності за температур вище 400-500°C.

Збільшення кількості хрому з 5 до 8% дещо підвищує окалиностійкість, але знижує теплостійкість; твердість не нижче 45HRC у сталі 4X8B2C зберігається за умови відпуску до 580°C, а в сталі 4X5B2ФС (з такою ж кількістю вольфраму) - до 600°C. Крім того, через зростання карбідної неоднорідності, неминучого зі збільшенням хрому, знижуються в'язкість і пластичність штамів у великих перетинах.

Найпомітніший вплив на окалиностійкість, а отже, на зносостійкість хром чинить за вмісту з 2,5 до 3,5-4% (рисунок 1.2).

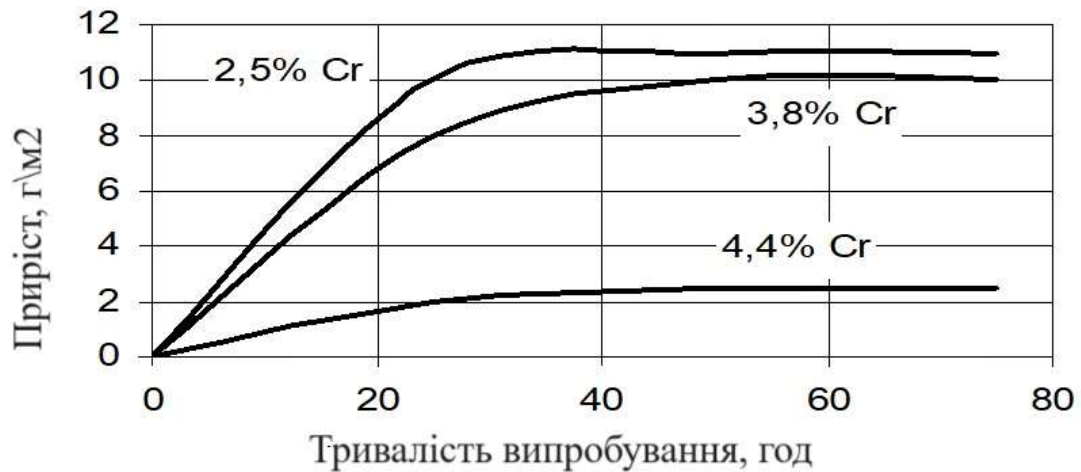


Рисунок 1.2. Вплив хрому на окислюваність за 600°C сталі з 0,4% C; 8%W і 0,5% V

До числа обмежень використання хрому як легувального елемента належить насамперед різке збільшення карбідної неоднорідності при введенні його в кількостях, що перевищують 4-5%. Наявність грубих рядків і залишків сітки первинних карбідів у сталях із 6-12% Cr поряд із труднощами технологічного характеру (зниження пластичності за підвищених температур, зростання небезпеки локальних оплавлень під час нагрівання злитків під деформацію тощо) істотно знижує їхні експлуатаційні властивості. Нерівномірність розподілу "внутрішніх" концентраторів напружень, що особливо зростає під час термічної обробки внаслідок утворення навколо скупчень карбідів збагачених вуглецем і легуючими елементами зон, призводить до помітного зменшення міцності, пластичності, опору втомної ушкоджуваності та зносостійкості високохромистих сталей в умовах динамічного навантаження.

Слід зазначити, що збільшення вмісту хрому вище 5% поряд із посиленням карбідної неоднорідності викликає також підвищення чутливості до перегріву. Цей недолік притаманний сталям, легуваним 1-2% W (Mo) і 0,3-0,8% V [1].

У штампових сталях для гарячого деформування необхідне жорстке регламентування вмісту хрому, оскільки він прискорює їх знеміцнення,

починаючи з 2-3%, що пов'язано зі значним зростанням швидкості коалесценції карбідів.

Також хром навіть за відносно невисоких концентрацій має значну схильність до дендритної ліквідації, більшу, ніж вольфрам, марганець і кремній. Це може призвести до несприятливих структурних змін - посилення карбідної смугастості, неоднорідності, відхилень від рівноважного фазового складу тощо.

З огляду на вищенаведені чинники, вміст хрому в штампових сталях для холодного деформування обмежують, як правило, 3,5-4,5%; у штампових сталях для гарячого деформування: 4-5% та 2-3% Cr для сталей підвищеної (4X5MΦC, 4X4BMΦC) та високої теплостійкості (типу 4X2B5ΦM, 5X3B3MΦC) відповідно та 1-2% Cr у сталях помірної теплостійкості та підвищеної в'язкості [4].

Підвищення вмісту вольфраму в комплекснолегованих штампових сталях для холодного деформування збільшує їхню стійкість проти перегрівання, зміщуючи температуру початку інтенсивного росту зерна до 1070-1100°C у сталях типу X4MΦ уже при введенні 2-3% W. Аналогічний ефект при легуванні вольфрамом спостерігається і в сталях для гарячого деформування, що містять не більше 0,5-1% V. У цій групі сталей при подібній зміні хімічного складу відбувається більш помітне зниження твердості після загартування, ніж при збільшенні вмісту молібдену. У сталях підвищеної теплостійкості збільшення концентрації вольфраму з 2 до 3% спричиняє значне зростання твердості після загартування і величини дійсного зерна аустеніту під час нагрівання до 1150-1180°C.

Молібден дещо підвищує стійкість проти перегріву сталей типу 4X4B2M2ΦC, але чинить протилежний вплив на поведінку під час нагрівання сплавів із підвищеним вмістом вуглецю (~ 1%, типу X4B2M2Φ1) [4].

Вольфрам і молібден ефективно підвищують теплостійкість. Теплостійкість зростає найзначніше при збільшенні вмісту вольфраму до 8%

Вольфрам (і меншою мірою молібден) затримують коагуляцію карбідів, що виділяються на границях зерен і деяких кристалографічних площинах, і посилюють дисперсійне твердіння під час відпуску, але при збільшенні їхнього вмісту погіршується в'язкість. Цей негативний вплив вольфраму значніший за його подрібнювальний вплив на зерно. Вольфрам посилює також карбідну неоднорідність, через що додатково знижуються механічні властивості у великих перерізах.

У сталях з молібденом дисперсійне твердіння настає за нижчих температур відпуску, дещо сильніше підвищується вторинна твердість. Карбід, що виділяється, має більшу здатність до коагуляції, внаслідок чого молібденова сталь порівняно з вольфрамовою має кращу в'язкість, але дещо меншу теплостійкість. Також молібден пригнічує схильність до відпускнуї крихкості внаслідок сприятливого впливу на стан границь зерен. Вміст молібдену, незважаючи на його ефективний вплив, встановлюють не вище за 2,5-2,8%, оскільки він посилює знеуглецювання [5].

У штампових сталях для холодного деформування найсприятливіша структура і необхідні механічні властивості досягаються за вмісту вольфраму близько 2-3%. Обов'язковою умовою забезпечення підвищеної працездатності подібних сталей є легування молібденом, який за збільшення його концентрації до 2% посилює дисперсійне твердіння під час відпуску і підвищує опір зім'яттю; понад 2% Мо сприяють знеуглецюванню сталі, зниженню міцності під час вигину та ударної в'язкості.

У штампових сталях для гарячого деформування збільшення концентрації вольфраму підвищує теплостійкість до певних меж. Такими межами є 1,0-2% W у сталях типу 4X4BMФС і ~ 3% у сталях типу 5X3B3Ф2МС. Вміст молібдену, як правило, становить 1,5-3% [4]. Молібден у цих сталях замінює вольфрам у співвідношенні 1 : 2.

Сталі, в яких молібден замінює понад 2-3% W, мають меншу карбідну неоднорідність. Молібден за заміни 3-4% W (і однакового ванадію) майже не змінює теплостійкості, внаслідок чого властивості міцності

вольфрамомолібденових сталей за нагрівання такі самі, як вольфрамових [1]. Вибір конкретних співвідношень між вольфрамом і молібденом визначається умовами експлуатації інструменту і він має бути економічно обґрунтований.

Ванадій чинить ефективний вплив на процеси збиральної рекристалізації та істотно зменшує чутливість штампових сталей до перегріву. У відносно невисоколегованих сталях (типу 5ХНМ, 7ХГ2ВМ та ін.) його дія виявляється помітною вже за вмісту близько 0,10-0,30%. Для інших груп сталей, що містять карбіди типу M_7C_3 , M_6C , $M_{23}C_6$, потрібна більша кількість ванадію для істотного зсуву температур початку інтенсивного росту зерна.

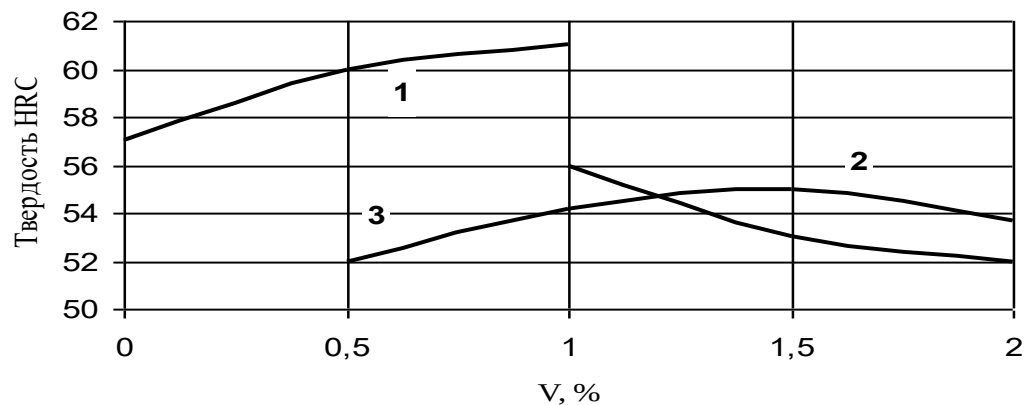
На механічні властивості ванадій має неоднозначний вплив. Зменшуючи чутливість до перегріву, при вмісті до 1% він може підвищувати міцність і пластичність високовуглецевих і середньовуглецевих ($\sim 0,4\% C$) штампових сталей.

Позитивний вплив ванадію на опір крихкому руйнуванню сплавів типу Х4В2МФ, 17Х6Ф4М після відпустки за 150-350 $^{\circ}C$ зберігається також за легування до 2-4% V. Після обробки на первинну твердість (60-62 HRC) такі сталі мають міцність під час вигину та ударну в'язкість близько 300-350 і 5-8 $кГс \times м/см^2$ проти 230-270 і 2-4 $кГс \times м/см^2$, для аналогічних сплавів, але з 0,5-1% V. При високотемпературному ($\geq 500^{\circ}C$) відпуску ванадій за підвищених його вмістів діє в протилежному напрямку, тобто зменшує пластичність штампових сталей як гарячого, так і холодного деформування. Поряд зі збільшенням небезпеки передчасного крихкого руйнування зниження пластичності високованадієвих сталей після обробки на вторинну твердість може призводити також до зменшення зносостійкості в умовах динамічного навантаження через сколювання та мікрокровифарбовування.

Збільшення вмісту ванадію з 0,4 до 0,8% посилює дисперсійне твердіння (рис. 4) і покращує теплостійкість, але знижує в'язкість. Внаслідок інтенсивного розвитку дисперсійного твердіння, що настає під час збільшення кількості ванадію з 0,35 до 1%, в'язкість знижується з 2,3-2,5 до 1,6-1,8 $кГ \times м/см^2$ за 20 $^{\circ}C$ і з 3,8-4,0 до 3-3,5 $кГ \times м/см^2$ за 650 $^{\circ}C$. Рекомендується сталі з

0,5% V (4X5MC) застосовувати для роботи за нагрівання до 580-590°C, а з 1% V (4X5B2ФС і типу 4X5МФС) - за нагрівання до 640-650°C [6].

Ванадій, так само 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.



1 - X4B2M1Ф; 2 - 4X4BMФС; 3 - 5X3B3MФС

Рисунок 1.3 - Вплив ванадію на максимальний рівень вторинної твердості після відпускання за температури 500-550°C

При введенні до складу сталей 3-4% V спостерігається значне погіршення шліфуваності (через присутність дуже твердого карбіду MeC), що обмежує їх широке застосування. Іншим недоліком є знижена окалиностійкість при відпалі та гарячій пластичній деформації [4].

Кремній є феритоутворювальним елементом і «виклинює» сферу існування γ -заліза в сплавах системи Fe - Si вже за вмісту близько 2%. Аналогічно впливає він на діаграму стану вуглецевих сталей (0,5-1% C), однак у цьому випадку повне завершення $\alpha \rightarrow \gamma$ -перетворення досягається за вмісту 3-5% кремнію.

Не утворюючи в сплавах на основі заліза сполук з вуглецем, кремній практично не впливає на тип і склад карбідів у штампових сталях, але спричиняє їх укрупнення у відпаленому стані.

Кремній і кобальт інтенсифікують процеси карбідоутворення під час відпуску і значно підвищують рівень вторинної твердості. У комплекснолегованих штампових сталях введення цих елементів спричиняє приріст зміцнення, що не супроводжується істотним збіднінням твердого розчину легуючими елементами, і зумовлений переважно підвищенням дисперсності карбідів, що виділяються під час старіння. Однак кремній, що зміщує в бік більш низьких температур відпуску "пік" вторинної твердості (за вмістом $\geq 1,5\%$), і кобальт, який практично не змінює його положення, збільшують швидкість розупрочнення за високого ($620-650^{\circ}\text{C}$) нагрівання. У зв'язку з цим вміст кремнію в штампових сталях для гарячого деформування обмежують $0,5-0,8\%$ [6].

Кремній впливає аналогічно хрому на механічні властивості сталі та стійкість до окислення. Кобальт підвищує вторинну твердість і теплостійкість, але не покращує окалиностійкості, необхідної для роботи за високих температур. Також до недоліків легування кобальтом належить схильність штампових сталей до знеуглецювання [1]. Використання кобальту доцільно і виправдано при введенні його в низьковуглецеві сплави ($0,1-0,2\% \text{ C}$) для гарячого деформування з інтерметалідним і комплексним зміцненням.

Необхідно зазначити, що обмеження, пов'язані з негативним впливом елементів, що розглядаються, на теплостійкість практично знімаються для штампових сталей холодного деформування, які нагріваються під час експлуатації не вище за $350-450^{\circ}\text{C}$. Дослідження показали, що легування кремнієм і кобальтом сталей типу Х4В2Ф2М у кількостях до 3-4 і 5% відповідно дає змогу значно підвищити вторинну твердість (до 64-67 HRC), а також опір малим пластичним деформаціям. Однак підвищуючи зазначені властивості, ці елементи знижують ударну в'язкість і міцність під час вигину, кобальт у цьому напрямку впливає сильніше [7].

Легування сталей нікелем і марганцем підвищує прогартованість. Цим визначається доцільність легування ними штампових сталей, призначених для виготовлення великогабаритних інструментів. Мало змінюючи чутливість до перегріву і, як наслідок, оптимальні температури загартування, нікель і марганець сильно знижують критичну швидкість охолодження.

Нікель ефективно підвищує пластичність, що дуже важливо для матеріалів, які зазнають впливу динамічних навантажень. Ця його позитивна властивість проявляється, однак, коли пригнічуються інші (шкідливі) наслідки легування сталі нікелем. До їх числа належить прискорення процесу виділення карбідів на кордонах. Викликаючи зниження пластичності, цей процес супроводжується також збіднінням твердого розчину карбідоутворювальними елементами і зниженням теплостійкості сталі. Легування нікелем сталі 4Х4ВМФС сприяє прискоренню теплового знеміцнення, а також окрихчуванню за температур випробувань 20-400°C. Крім того помітно знижується опір термічній втомі. Аналогічним чином впливає додавання в цю сталь марганцю, який додатково збільшує коефіцієнт термічного розширення і погіршує теплопровідність. Таким чином, легування нікелем і марганцем теплостійких сталей для гарячого деформування є недоцільним.

Застосовується легування штампових сталей підвищеної прожарюваності і в'язкості для гарячого деформування нікелем і марганцем у кількостях 1,5-2% і 0,5-1% відповідно.

Введення цих елементів у межах 1,5-2% Mn і 0,5-1,0% Ni є вельми доцільним і для сталей підвищеної в'язкості, що мало деформуються (типу 7ХГ2ВМ, 7ХГНМ) для холодного деформування.

Марганець і нікель збільшують кількість залишкового аустеніту, але не запобігають його розпаду під впливом напружень, що циклічно змінюються під час експлуатації штамів. Це робить неприпустимим легування цими елементами штампових сталей, що вторинно тверднуть, з високим опором зминанню.

У загальному випадку для інструментальних сталей вміст нікелю і марганцю не повинен перевищувати 0,4%. Припустимо підвищення вмісту нікелю до 0,6-0,8%, тоді трохи зростають міцність і в'язкість низки сталей [8].

1.3 Термічна обробка штампових сталей для гарячого деформування

Мета остаточної термічної обробки - отримання в готовому інструменті оптимального поєднання основних властивостей: твердості, міцності, зносостійкості, в'язкості та теплостійкості [9].

Найпоширеніший технологічний процес остаточної термічної обробки інструменту для гарячого деформування складається із гартування і відпуску. Велика розмаїтість умов роботи такого інструменту зумовлює не тільки застосування різних сталей, а й необхідність отримувати в кожному конкретному випадку оптимальне для даних умов поєднання властивостей за рахунок правильного вибору режимів термічної обробки. При цьому залежно від призначення інструменту можливий вибір різних температур нагріву під загартування, гартівних середовищ і способів охолодження, температур відпуски. Режими загартування і відпуску не універсальні, а їх слід призначати диференційовано відповідно до умов роботи інструменту.

Службові властивості штампового інструменту і його стійкість значною мірою визначаються відповідним призначенням марки сталі, її термообробкою та умовами експлуатації інструменту [10].

Загартування проводиться для розчинення значної частини карбідів і отримання високолегованого мартенситу (рисунк 1.4). Тому температури загартування - підвищені й обмежуються лише необхідністю зберегти дрібне зерно і достатню в'язкість.

Подальший відпуск спричиняє додаткове зміцнення внаслідок дисперсійного твердіння. Для підвищення в'язкості його виконують

найчастіше при більш високих температурах на більш низьку твердість: 45-52 HRC і трооститну структуру [11].

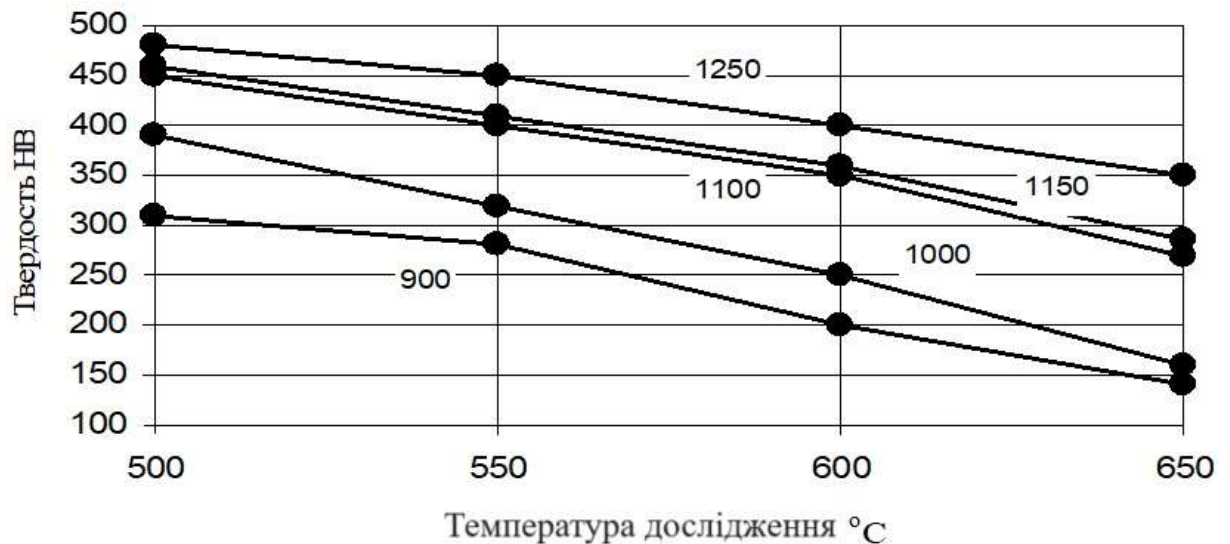


Рисунок 1.4 - Вплив температури гартування на твердість сталі 3Х2В8Ф під час нагрівання; відпуск 600°C

Сталь набуває менш легованого фериту, а коагуляція карбідів, що виділилися під час відпуску, протікає повніше.

Теплостійкість штампових сталей визначається складом твердого розчину. Вона зростає з підвищенням температури загартування спочатку значно, коли розчиняється більша частина вторинних карбідів, а потім повільніше, але за значного зростання зерна.

Нагрівання до 1100°C створює досить повне насичення аустеніту (мартенситу) і високі міцнісні властивості. Більший нагрів зайвий; він уже мало покращує теплостійкість, але спричиняє значне зростання зерна у сталі 3Х2В8Ф до бала 8 (за 1150°C) і сильно погіршує в'язкість, пластичність і розгаростійкість [12].

Зміна твердості та міцності на відміну від теплостійкості характеризується кривою з максимумом (рисунок 1.5).

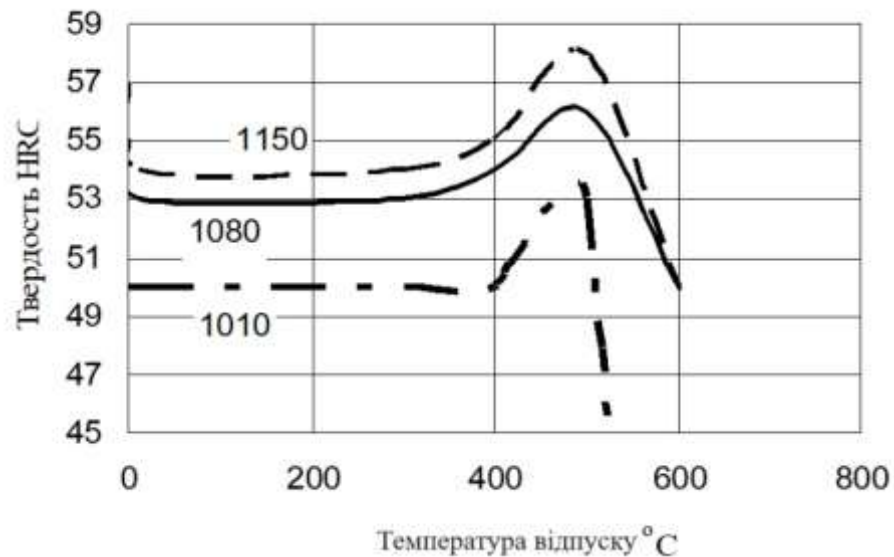


Рисунок 1.5 - Вплив температури гартування сталі типу 4Х5МС на твердість

З підвищенням нагріву в області більш низьких температур вони зростають через розчинення комплексних карбідів (підвищується легуваність аустеніту і насиченість його вуглецем), а після вищого нагріву знижуються через зростання зерна і напруги. Однак міцність відпущеної сталі зростає з підвищенням температури загартування завдяки зміцнювальному впливу дисперсних карбідів, що виділяються під час відпуску [13].

Розглянемо вплив температури відпуску. Відпуск 200-350°C трохи знижує твердість через виділення і коагуляцію цементитного карбиду. Відпуск сталі 4Х5В2ФС за 530-550°C, а сталі типу 4Х5МС за 480-500°C створює вторинну твердість; вона зростає на 0,5-1HRC внаслідок дисперсійного твердіння.

При 500-550°C виділяється проміжний карбід типу Me_2C . Вище 550-600°C виділяється карбід Me_6C у сталях із вольфрамом і карбіди $Me_{23}C$ і Me_6C у сталях із молібденом. Відпуск вище 600-625°C посилює коагуляцію карбідів.

Твердість штамів раціонально встановлювати рівною 47-50HRC. За більшої твердості швидше утворюються тріщини розгару, а за меншої знижується зносостійкість.

Характерний вплив температури загартування на межу плинності відпущеної сталі. З підвищенням нагріву межа плинності підвищується, що спричинено повнішим розвитком дисперсійного твердіння під час відпустки. Подальше нагрівання знижує межу плинності, оскільки вплив інтенсивного зростання зерна, що настає, стає переважним.

Теплостійкі штампові сталі мають границю плинності 1350-1650 МПа за 20°C і 900-1100 МПа 600-650°C, що забезпечує достатню формостійкість штампа [14].

В'язкість відпущеної сталі змінюється залежно від температури загартування подібно до міцності, але досягнутий максимум в'язкості зсунутий до нижчих температур. Загартування з невисоких температур підвищує в'язкість завдяки розчиненню карбідів, присутніх у відпаленій сталі на кордонах зерен. При підвищенні температур загартування в'язкість зменшується через посилення при відпустці дисперсійного твердіння і утворення більш легovanого мартенситу.

Дисперсійне твердіння, що проходить під час відпускання, знижує в'язкість. Штампи необхідно відпускати трохи вище за температури розвитку дисперсійного твердіння для підвищення в'язкості та пластичності.

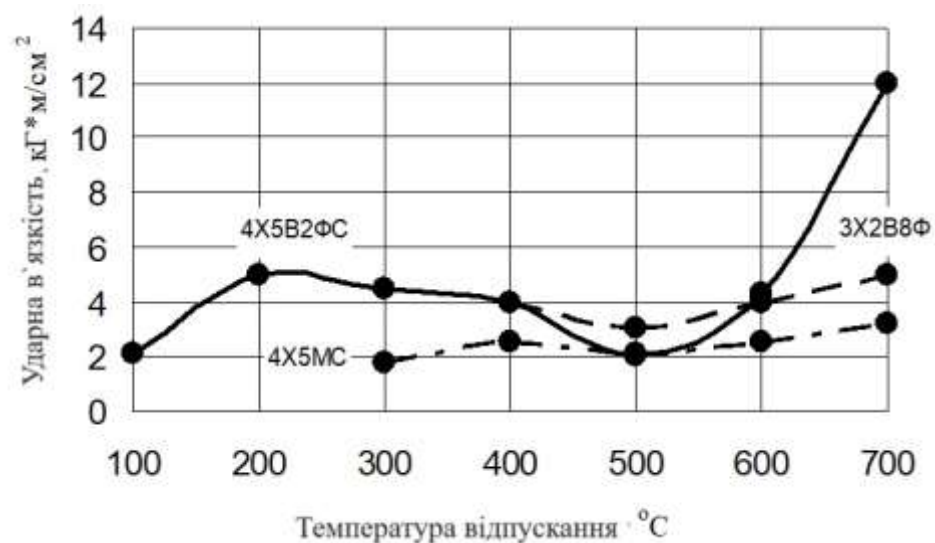


Рисунок 1.6 - В'язкість в залежності від температури відпуску

В'язкість і пластичність у значній мірі визначають розгаростійкість сталей із трооститною структурою; вона зростає за їхнього підвищення.

Зміна густини сталі та лінійних розмірів зразків характеризується тим, що ці параметри з підвищенням температури спочатку збільшуються, а потім зменшуються внаслідок впливу зростаючої кількості залишкового аустеніту.

Відносне звуження штампових сталей - не нижче 25% при 20°C і 30-40% (у деяких вольфрамових 8-10%) при 650°C (рисунок 1.7).

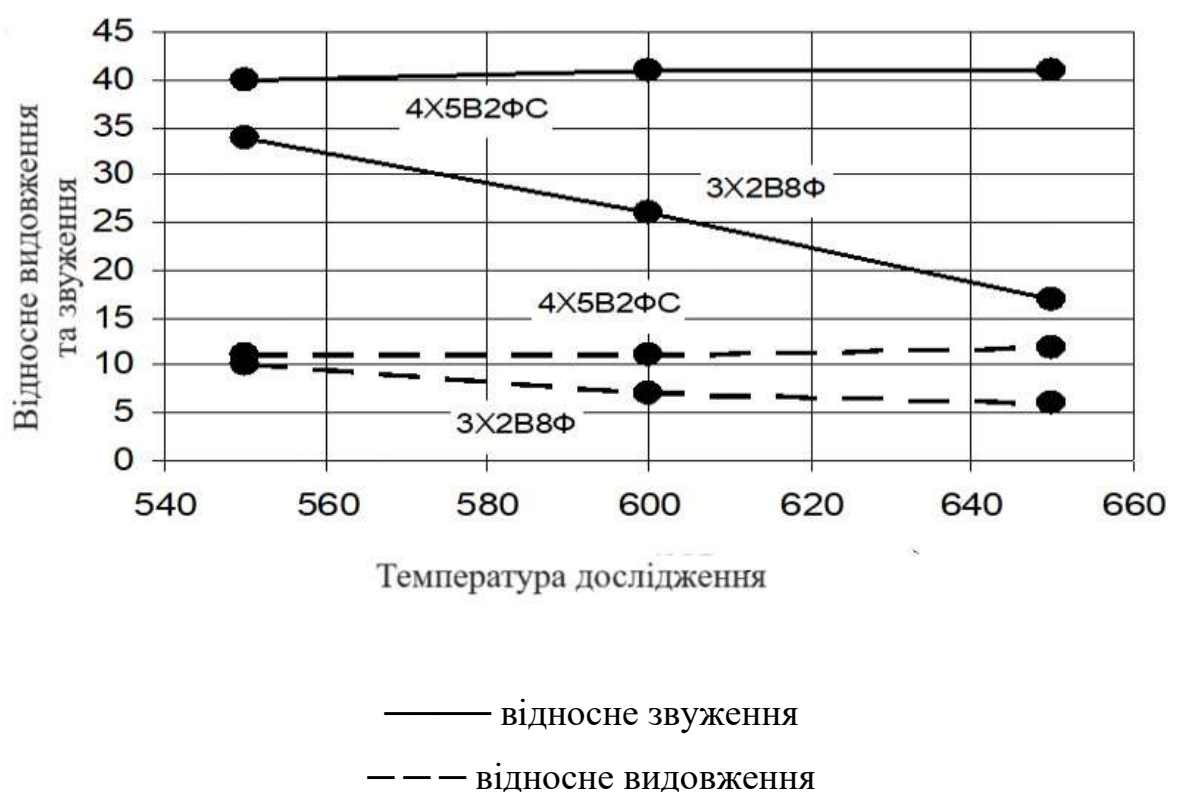


Рисунок 1.7 - Відносне подовження і звуження сталей; гартування на зерно 10; відпуск на твердість 50HRC

Дефекти, які можуть виникнути під час термообробки, також впливають на властивості та структуру сталей.

Знеуглецювання може викликати тріщини внаслідок різниці об'ємних змін, що відбуваються під час загартування в знеуглецьованому і нижчих шарах, що різко знижує стійкість інструменту.

Вольфраміві та вольфрамомолібденові сталі чутливі до утворення нафталіністого зламу. Сталь з таким браком має велике зерно, що у багато разів перевершує зерно нормальної сталі; одночасно можуть бути присутніми і більш дрібні зерна. Сталь з нафталіністим зломом не відрізняється за твердістю і теплостійкістю від сталі з нормальним зломом, але має знижену в'язкість і стійкість.

Причина виникнення нафталіністого зламу - виконання вторинного загартування без проміжного високого відпуску (або відпалу). Усунути нафталіністий злам і відновити нормальну в'язкість складно. Потрібен багаторазовий і тривалий відпал або ще більш тривалий відпуск [9-14].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Зразки та хімічний склад досліджуваної сталі

Для проведення дослідження було обрано штампову сталь для гарячого деформування марки 4X5МФ1С, виплавлену в умовах заводу "ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ". Виплавка, розливання та інші операції проводилися згідно з чинною технологічною інструкцією. Хімічний склад сталі представлений у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 4X5МФ1С

C	Si	Mn	Cr	W	V	Mo	Ni
0,32	1,05	0,35	5,00	—	1,10	0,80	—

Після виплавки сталь була піддана гарячій пластичній деформації (куванню). Початок кування при 1160°C, кінець - при 850°C. Охолодження після кування уповільнене. Як попередню термічну обробку використовували відпал, призначений для подрібнення зерна і отримання низької твердості. Температура відпалу становила 850°C. У стані поставки сталь мала структуру зернистого перліту.

Далі з поковки діаметром 250 мм були вирізані зразки розміром 10×10×55 мм і піддані остаточній термічній обробці в цехових умовах. Зразки з маркувальними номерами 1, 12, 24, 42, 59 були загартовані в камерній печі на температури 950, 1 000, 1 050, 1 070 і 1 100°C. Охолодження проводилося в олії. Зразки з номерами 2, 30, 31, 34, 35, 69, 70, 89, 91, 92 були загартовані з температури 1 070°C і піддані відпуску з різними температурними режимами.

Таблиця 2.1 - Режими термообробки експериментальних зразків

№	Маркування зразка	Термічна обробка	
		Температура гартування, °C	Температура відпуску, °C
1	1	950	—
2	12	1 000	—
3	24	1 050	—
4	42	1 070	—
5	59	1 100	—
6	35	1 070	230
7	34	1 070	310
8	31	1 070	400
9	70	1 070	530
10	91	1 070	550
11	30	1 070	570
12	92	1 070	570
13	89	1 070	600
14	69	1 070	650
15	2	1 070	660

2.2 Дослідження мікроструктури

Для вивчення мікроструктури зразків необхідно, щоб їхня поверхня була спеціально приготовлена. Виготовлення мікрошліфа зводиться до виконання таких операцій: шліфування, полірування і травлення.

Шліфування проводилося на шліфувальному папері з поступовим переходом від паперу марки № 12-3 із зернистістю від 125 до 20 мкм до паперу марки М40-М5 із зернистістю від 28 до 3,5 мкм (ГОСТ 6456-75).

Під час переходу від одного номера зернистості до іншого зразок очищали від абразиву і змінювали напрямок шліфування на 90° для повного видалення всіх рисок, що утворилися під час попередньої операції.

Полірування проводили на спеціальному полірувальному верстаті, диск якого обтягнутий фетром, за допомогою полірувальної рідини. Після полірування зразок був промитий водою і висušений фільтрувальним папером.

Для виявлення мікроструктури поліровану поверхню мікрошліфа піддавали травленню. Вибір складу травителя при цьому залежав від конкретного поставленого завдання. У роботі використовувалися такі реактиви:

1) для виявлення аустенітного зерна - п'ятивідсотковий спиртовий розчин пікринової кислоти, посилений добавками 0,5-1% алкіл-сульфату натрію;

2) для відокремлення реплік під час електролітичного травлення застосовували десятивідсотковий спиртовий розчин азотної кислоти;

3) для виявлення мікроструктури під час електролітичного травлення - спиртовий розчин трихлористого заліза і лимонної кислоти (0,5 г FeCl_3 , 0,5 г лимонної кислоти, 25 мл спирту).

2.3 Дослідження механічних властивостей

Вимірювання твердості проводили на приладі Роквелла за допомогою алмазного конуса з кутом при вершині 120° і радіусом заокруглення у вершині конуса 0,2 мм. Сумарне навантаження становило 1 500 Н (шкала С). Відлік проводили за чорною шкалою. Перед роботою прилад перевіряли за допомогою еталона відповідної твердості, після чого вносили поправку в

отримані значення твердості. Кількість проведених вимірювань не менше п'яти для кожного зразка.

Для визначення мікротвердості досліджуваних матеріалів використовували мікротвердомір ПМТ-3 зі збільшенням 480 крат, принцип роботи якого полягає в тому, що чотиригранна алмазна піраміда (з кутом при вершині між протилежними гранями 136°) вдавлюється у випробовуваний метал під навантаженням 2 Н.

Довжина діагоналі відбитка визначалася за формулою

Значення мікротвердості визначалися за формулою

$$H_{\square} = 18540 \cdot \frac{P}{d^2}, \text{ МПа} \quad (2.1)$$

де P - навантаження на піраміду, г;

d - довжина діагоналі відбитка, мкм.

Під час вимірювання необхідно враховувати неминучий розкид отриманих значень унаслідок впливу сусідніх структурних складових з іншою твердістю, різної товщини випробовуваних елементів структури, помилки вимірювання та інших причин. Для можливості статистичного опрацювання результатів експерименту на кожному зразку проводили не менше шістдесяті замірів.

2.4 Визначення зносостійкості

Вимірювання зносостійкості було виконано з використанням трибометра МАТ GmbH. Застосовувався метод тертя «кульки по диску». Кулька, діаметром 3 мм, була виконана з твердого сплаву ВК6. Перед випробуваннями кульку і зразок очищали в спиртовій ультразвуковій ванні

(Branson 3210) протягом 5 хвилин для видалення поверхневих забруднень. Далі зразок наклеювали на підкладку і поміщали в трибометр, де його поверхня стикалася з навантаженою кулькою (навантаження на кульку 300 г.). Частота коливань кульки становила 3 Гц. Через задану кількість циклів прилад автоматично відключався. У роботі застосовувалися два режими: 5 000 і 40 000 циклів.

Глибину і перетин сліду тертя вимірювали на профілометрі DekTak 8 000. Кількість проведених вимірювань перетину не менше п'яти для кожного сліду тертя. За отриманими даними розраховували винесений обсяг матеріалу, за яким можна порівняно оцінити зносостійкість.

Також за допомогою оптичного мікроскопа оцінювали зношування кульки, що дало змогу перевірити достовірність отриманих результатів.

2.5 Оцінювання помилки вимірюваних величин

Постановка дослідження і спосіб добору даних за обраною методикою повинні забезпечувати надійність результатів і їх точність, достатню для вирішення конкретного завдання. Точність експерименту визначається методами математичної статистики з використанням наведених нижче характеристик.

Математичне очікування випадкової величини X (вибіркова середня):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.2)$$

де X_i - i -е значення вимірювання;

n - кількість вимірювань.

Середнє квадратичне відхилення S_x

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{\nu}} \quad (2.3)$$

де X_i - i -е значення вимірювання;

n - кількість вимірювань.

ν - число ступенів свободи, $\nu = n-1$.

Дисперсія випадкової величини X

$$D = S_x^2 = \frac{1}{\nu} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2.4)$$

Стандартне відхилення середнього результату

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S_x^2}{n}} \quad (2.5)$$

Величина довірчого інтервалу ΔX за заданої довірчої ймовірності
($P = 0,95$)

$$\Delta X = t(\nu, P) \times S_x \quad (2.6)$$

де $t(\nu, P)$ - коефіцієнт Стюдента, залежний від числа проведених вимірювань

Відносна похибка результату серії вимірювань

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.7)$$

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вплив температури гартування на структуру і твердість сталі 4X5МФ1С

Фотографії мікроструктури досліджуваних зразків були отримані за допомогою мікроскопа після підготовки поверхні за вищенаведеною методикою. Травлення здійснювалося електролітично за напруги на катоді 2 В. Як травитель застосовувався спиртовий розчин трихлористого заліза і лимонної кислоти.

Структура досліджуваної сталі являє собою мартенсит, аустеніт залишковий і карбіди (рисунк 3.1). Основна структура - мартенсит - погано виявляється. Структуру необхідно переглядати при великих збільшеннях, оскільки після гартування без перегріву зерна аустеніту і кристали мартенситу дуже дрібні.



а



б



в



г

Рисунок 3.1 - Мікроструктура сталі 4X5МФ1С поковки діаметром 63 мм після гартування в олії з нагріванням за 1040 °С протягом 1 год і відпуску за 650 °С протягом 1,5 год за послідовного збільшення зображення

Зі збільшенням температури нагріву під гартування, в кінцевому підсумку, отримуємо більші мартенситні голки, що можна спостерігати на фотографіях. Останнє зумовлено зростанням дійсного зерна аустеніту при підвищенні температури через прагнення системи до мінімуму вільної енергії. Своєю чергою, розмір дійсного зерна аустеніту має істотний вплив на дисперсність мартенситу і механічні властивості сталі в загартованому і відпущеному стані (рисунок 3.2).

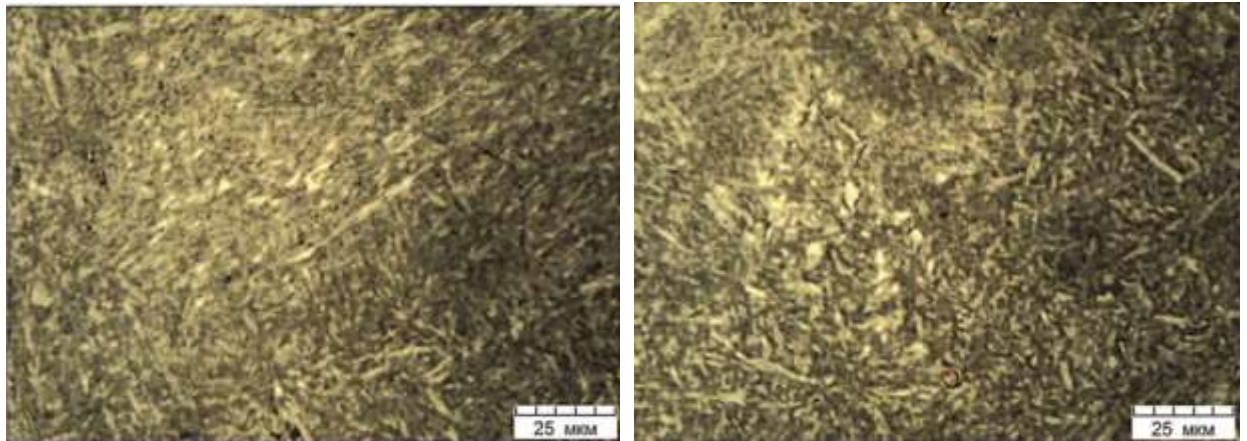


Рисунок 3.2 – Вигляд мартенситних голок при збільшенні температури гартування

Загальною для всіх штампових сталей тенденцією є великий вміст залишкового аустеніту після загартування. Причому з підвищенням легованості твердого розчину знижуються температури мартенситного перетворення і зростає кількість аустеніту. У комплекснолегованих сталях його кількість може досягати 15-30% після обробки за оптимальними режимами і 60-80% після загартування з перегрівом на 50-70°C.

Концентрація вуглецю в мартенситі визначається хімічним складом сталей і температурно-часовими параметрами аустенізації. Після обробки за прийнятими режимами (тобто на зерно не крупніше 8 бала) вона становить до 65-85% від загального вмісту вуглецю в сталі. При зниженні температури загартування вміст вуглецю, що фіксується в мартенситі, зменшується, при цьому його перерозподіл у легованій сталі супроводжується збідненням

твердого розчину і легувальними елементами. Цей процес поряд із виділенням карбідів по границям зерен аустеніту супроводжується також зниженням пластичності, ударної в'язкості та теплостійкості.

Твердість є найважливішою властивістю інструментальних сталей. Вона характеризує напружений стан, близький до нерівномірного всебічного стиснення, і тим самим визначає опір значній пластичній деформації і контактним напруженням. Зі збільшенням твердості здебільшого зростає зносостійкість; збільшується можливість отримання чистішої і рівнішої поверхні як металу, що обробляється різанням або тиском, так і самого інструменту під час його шліфування або доведення; зменшується налипання оброблюваного металу на поверхню інструменту тощо. Залежно від складу сталі та термічної обробки твердість може змінюватися в широких межах.

У цій роботі було виміряно твердість загартованих зразків на приладі Роквелла. Кількість вимірювань твердості становить не менше п'яти для кожного зразка. Зняті експериментальні дані були оброблені з використанням методів математичної статистики. Експериментальні дані представлені в таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Залежність твердості сталі 4X5MФ1С від температури гартування

Маркування зразка	Температура гартування, °C	ТвердістьHRC						Середнє квадратичне відхилення результату S _x	Відносна похибка ε, %
		№					a _{cp}		
		1	2	3	4	5			
1	950	46	44	45	46	45	45	0,87	2,4
12	1 000	49	49	49	48	49	49	0,50	1,2
24	1 050	51	52	51	50	51	51	0,71	1,7
42	1 070	50	51	50	51	51	51	0,94	2,3
59	1 100	53	54	53	55	54	54	0,87	2,0

Дослідження показали, що зі збільшенням температури гартування збільшується твердість (рисунок 3.3), оскільки аустеніт (мартенсит після охолодження) стає більш легованим завдяки розчиненню карбідів під час нагрівання.

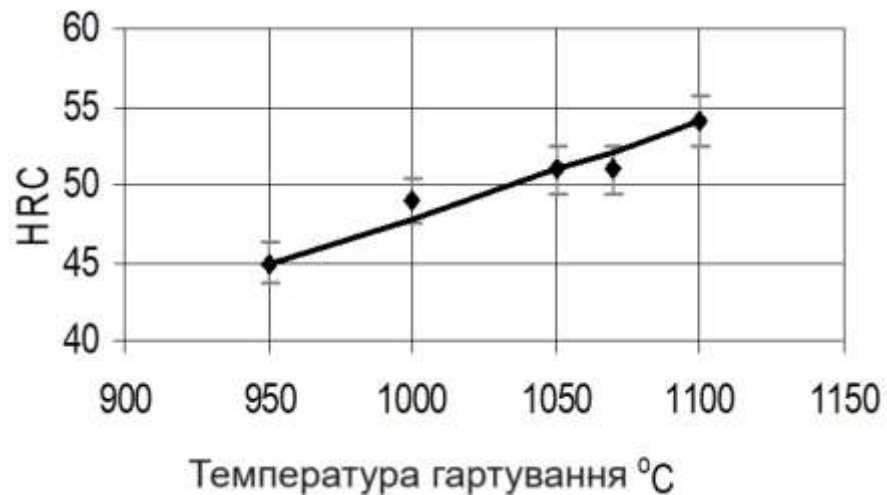


Рисунок 3.3 - Залежність твердості загартованих зразків від температури гартування

3.2 Вплив температури відпускання на властивості сталі 4X5МФ1С

Відпуск є обов'язковою складовою термічної обробки штампових сталей і призводить до суттєвих змін у їхній структурі та властивостях.

У сталях, що мають після аустенізації певну легованість твердого розчину, відпуск за температури 450-550°C призводить до помітної зміни хімічного складу мартенситу, збільшення вмісту карбідів і чітко вираженого ефекту зміцнення.

Щоб визначити, як впливає температура відпуску на властивості сталі 4X5МФ1С, було виміряно твердість на зразках після гартування на 1070°C і відпуску. Дані вимірювань наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Залежність твердості сталі 4X5МФ1С від температури відпуску (температура загартування 1 070°C). Час витримки під час відпуску 1 год

№ зразка	Тем-ра гартування, °C	Тем-ра відпуску °C	Твердість після відпуску HRC						Сер.кв. відхиленн я результату S _x	Відносна похибка ε, %
			№ вимірювання					a _{ср}		
			1	2	3	4	5			
35	51	230	47	50	48	48	48	48	1,12	2,9
34	51	310	50	50	51	50	50	50	0,50	1,2
31	51	400	51	52	51	51	51	51	0,50	1,2
70	51	530	53	50	53	53	51	53	1,58	3,7
92	51	570	52	53	53	52	53	53	0,71	2,4
2	51	660	42	43	42	43	43	43	0,71	2,1

Зміну твердості сталі 4X5МФ1С залежно від температури відпуску показано на рисунок 3.4.

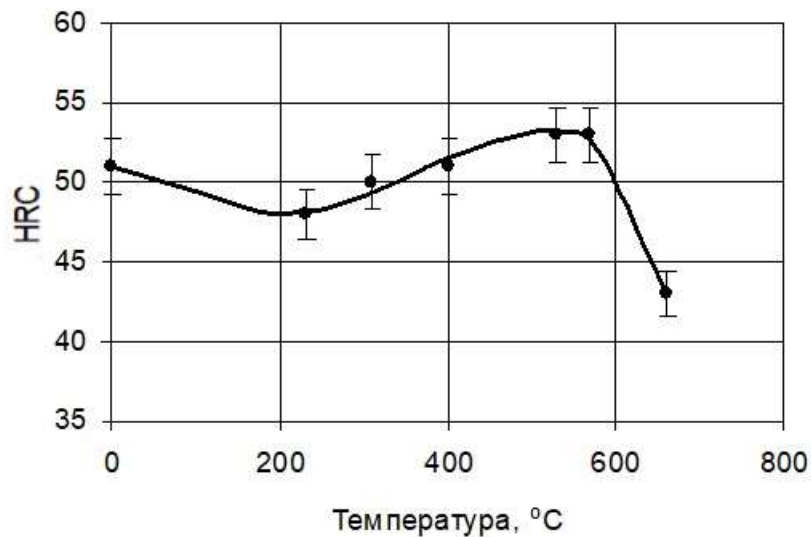


Рисунок 3.4 - Залежність твердості сталі 4X5МФ1С від температури відпуску

Видно, що відпуск при 200-300°C знижує твердість через виділення з мартенситу цементитного карбиду. Відпуск при температурах близько 500-

550°C створює вторинну твердість, внаслідок дисперсійного твердіння. У молібденових сталях на цій стадії виділяються карбіди Me_{23}C і Me_6C . При подальшому підвищенні температури посилюється коагуляція карбідів, що веде до зниження твердості.

3.3 Вплив температури відпуску на зносостійкість

Зносостійкість інструментальної сталі, тобто здатність її чинити опір різним видам зношування поверхні, є характеристикою довговічності інструменту. Зношування супроводжується не тільки фізичним руйнуванням робочого шару і втратою маси металу, а й його пластичним деформуванням. У результаті обох процесів змінюються форма і розміри робочих крайок. Зношування посилюється в умовах:

а) динамічних навантажень, що спричиняють додатково викришування і сколювання поверхневих шарів;

б) нагріву під час різання або деформації, що знижує твердість і опір пластичній деформації та полегшує дифузію атомів між сталлю інструменту, оброблюваним металом і стружкою, що сходить.

Динамічні навантаження можуть призводити до викришування і сколювання поверхневих шарів інструменту, що є формою фізичного руйнування. Нагрівання під час різання або деформації також впливає на властивості інструментальної сталі. Зниження твердості і опору пластичній деформації може призвести до пластичного деформування робочого шару інструменту.

Крім того, нагрівання може полегшити дифузію атомів між сталлю інструменту, оброблюваним металом і стружкою. Це може викликати хімічні реакції, що сприяють зносу поверхні інструменту.

Таким чином, зносостійкість дуже складна властивість. Вона визначається не тільки хімічним складом, структурою і механічними властивостями, а й властивостями оброблюваного матеріалу, умовами експлуатації інструменту, його конструкцією тощо. Останні визначають характер зносу: абразивний, адгезійний, ерозійний, дифузійний тощо.

У цій роботі було проведено дослідження зносостійкості інструментальної сталі 4X5MФ1С залежно від температури відпуску. Для дослідження застосовувався метод тертя «кульки по диску». Кількість циклів тертя було обрано рівною 40 000. У результаті серії експериментів на зразках було отримано сліди (канавки) тертя, переріз яких вимірювали на профілометрі. Вимірювання проводилися в п'яти різних місцях сліду. Знос зразка надалі оцінювався за винесеним об'єму металу. Для підтвердження отриманих результатів додатково оцінювалося зношування кульки (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 - Порівняльна зносостійкість зразків, відпущених з різних температур

Номер зразка		91	30	89	69
Температура відпуску, °C		550	570	600	650
Кількість циклів тертя		40 000	40 000	40 000	40 000
Перетин профілю зносу $S, \text{мкм}^2$	1	1 844,3	1 027,3	522,9	1 196,9
	2	973,3	845,3	592,8	1 212
	3	974,4	712,9	530,7	743,3
	4	578,3	1 822,5	521	1 004
	5	1 085,7	1 103,2	548,5	945,6
	среднее	1 091,2	1 102,24	543,18	1 020,36
Довжина сліду $L, \text{мкм}$		1 873	1 956	1 997	2 001
Обсяг винесеного матеріалу $V, \text{мкм}^3$		2 043 818	2 155 981	1 084 730	2 041 740
Зношення кульки, мкм^3		4,19	2,42	6,56	3,03

За результатами експериментів було побудовано графік, що характеризує винесений об'єм матеріалу залежно від температури відпуску (рисунок 3.5). Мінімум на наведеній кривій відповідає зразку з максимальною зносостійкістю.

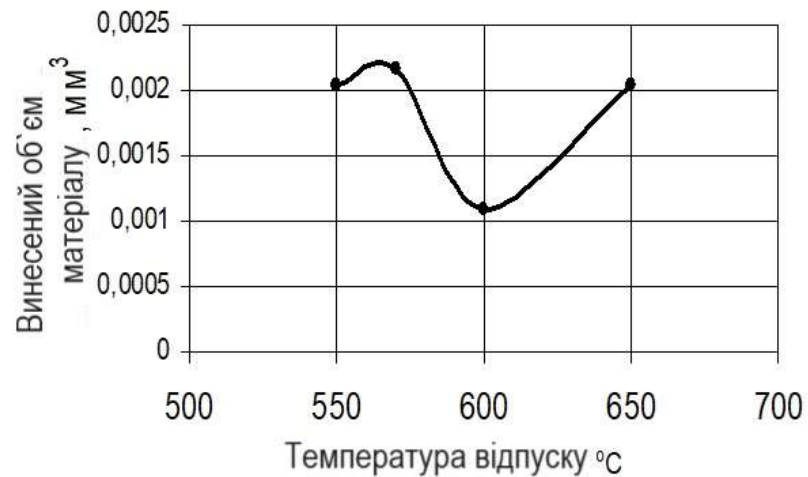


Рисунок 3.5 - Порівняльна зносостійкість зразків зі сталі 4X5MФ1С залежно від температури відпуску

Для зіставлення зміни твердості та зносостійкості зразків, відпущених на різні температури, на приладі Роквелла було виміряно їхню твердість (рисунок 3.6).

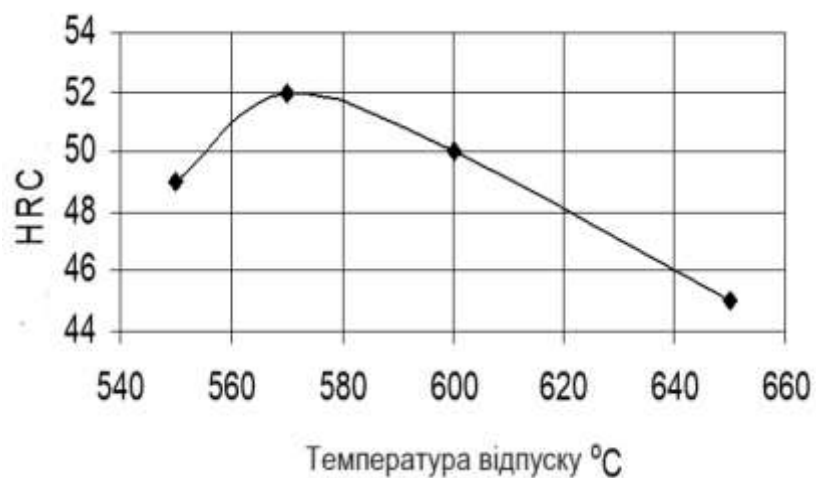


Рисунок 3.6 - Залежність твердості сталі 4X5MФ1С від температури відпуску

Максимальне зміцнення в досліджуваній сталі досягається після відпуску на 570°C. З подальшим підвищенням температури до 600°C зносостійкість зростає, а твердість зменшується, що пов'язано з різною природою карбідів, які виділяються. При 500-550°C виділяється проміжний карбід типу Me_2C ; вище 550-600°C - карбіди $Me_{23}C$ і Me_6C . Відпуск вище 600-625°C посилює коагуляцію карбідів.

Також побудовано залежність зносу кульки під час експерименту для кожного зразка (рис.3.7). Видно, що максимальний знос кульки було отримано на зразку з максимальною зносостійкістю.

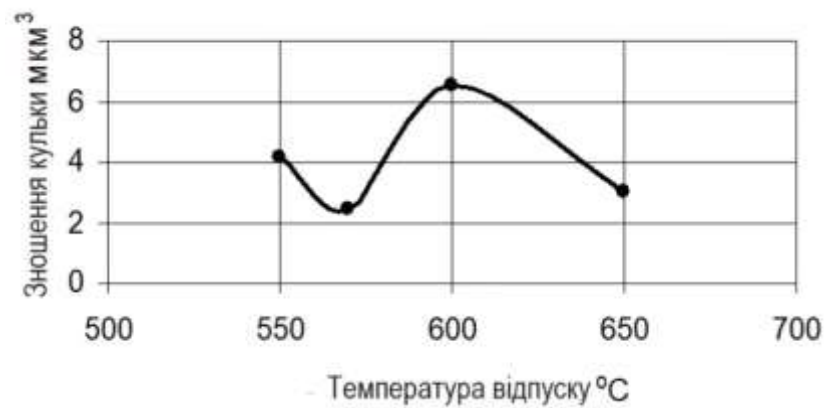


Рисунок 3.7 - Знос кульки під час експериментів зі зразками, відпущеними на різні температури

З отриманих даних випливає, що найбільшу зносостійкість має сталь, відпущена з температури 600°C. Це явище пов'язане з тим, що при цій температурі відпустки відбувалося дисперсійне твердіння, що призводить не тільки до збільшення твердості, а й зростання зносостійкості.

У результаті термічної обробки істотно змінюються властивості сталі, особливо механічні властивості. Загартування під час нагрівання на високі температури проводиться для розчинення значної частини карбідів і отримання високолегованого мартенситу, внаслідок чого забезпечується висока твердість. Подальший відпуск на температури 500-600°C викликає додаткове зміцнення. За зазначених температур зростає дифузійна рухливість

карбідоутворювальних елементів, що призводить до зміни хімічного складу мартенситу, збільшення вмісту карбідів і ефекту зміцнення. Причина вторинного твердіння - заміна порівняно грубих частинок цементиту, що розчиняються, значно більш дисперсними виділеннями спеціального карбіду (V_4C_3 , Mo_2C та ін.). У молібденових сталях у послідовності карбідних перетворень $Fe_3C \rightarrow Me_2C + Me_{23}C_6 \rightarrow Me_6C$ максимум вторинного тверднення відповідає стадії виділення дисперсних частинок Me_2C і $Me_{23}C_6$. У роботі було виявлено, що дисперсійне твердіння сталі 4X5МФ1С відбувається за температур порядку 530-570°C. Одночасно зі збільшенням твердості зростає і зносостійкість, досягаючи максимального значення при відпустці на 600°C. Поряд із зазначеними вище процесами під час відпуску відбувається розпад залишкового аустеніту. Він протікає при 480-580°C, як правило, ізотермічно, закінчується повністю і не впливає на працездатність матеріалу. У результаті перетворення залишкового аустеніту трохи підвищується твердість, але його вплив непомітний на тлі вторинного твердіння.

3.4 Розрахунки кількості обладнання для виконання кожної операції термічної обробки

Даний штамп призначений для виготовлення деталей невеликого розміру, тому габарити його такі: $H=450\text{мм}$, $L = 500\text{мм}$.

Для виготовлення виробу обираємо піч СНЗ 11.22.7/12 з такими габаритами: $1,1 \times 2,2 \times 0,7$ з максимальною температурою 1200°C, для ввідпускання використовуємо піч з такими ж робочими габаритами тільки меншою температурою 700°C. Для охолодження обираємо гартівний бак ЗБК-400. Для промивання виробів від масла після термічної обробки використовуємо мийну машину ММК-400. Для очищення деталей від окалини

використовуємо дробоструменеву установку, яка знаходиться на окремій спеціалізованій ділянці

Час нагрівання під гартування розраховуємо за формулою: $\tau_n = S \cdot k \cdot f \cdot L_{\text{л}}$,
 S – характеристичний розмір виробу, $S = 500\text{мм}$.

$$\tau_n = 500 \cdot 0,75 \cdot 1,4 \cdot 1,95 = 17\text{год}$$

Витримка при технологічній температурі 750°C розраховується із розрахунку 1хв на 1мм товщини виробу. Звідси: $\tau_v = 7\text{год}$.

Час охолодження у маслі розраховують за формулою $\tau_{\text{ох}} = (t_k - t_o)/V_{\text{ох}}$,
 при цьому швидкість охолодження $V_{\text{ох}} = 120^\circ\text{C/с}$. $\tau_{\text{ох}} = (850-20)/70 = 13\text{с}$
 $= 0,21\text{хв}$

Загальний час гартування штампу: $\tau_{\text{Г1}} = 24\text{ год}$

Після цього проводять операцію відпускання при температурі 520°C .

Час для нагрівання деталей розраховують із розрахунку 100с на 1мм виробу. Тоді, $\tau_n = 100 \cdot 500 = 1250\text{с} = 13\text{ год}$.

Витримку здійснюють при технологічній температурі тривалістю із розрахунку 10хв+1хв на 1 мм виробу. Тоді, $\tau_v = 10+1 \cdot 500 = 8,5\text{ год}$.

Охолодження після відпускання проводять у воді зі швидкістю $V_{\text{ох}} = 200^\circ\text{C/с}$, $\tau_{\text{ох}} = (500-20)/200 = 2,4\text{с} = 0,04\text{хв}$.

Загальний час здійснення операції відпуску: $\tau_{\text{В1}} = 21,5\text{ год}$.

При цьому методі необхідний час роботи обладнання для виконання конкретної операції визначається на основі даних завантажувальної відомості. Вона складається для кожної операції термічної обробки та кожного обладнання. Ця методика більш точна, вона враховує масу садки, загальний час, зайнятий обладнанням при обробці садки, раціональний спосіб завантаження виробів в піч і в певній мірі відображає необхідний час для обробки конкретних виробів. У відомість включають усі вироби, які обробляються на даному обладнанні.

Кількість садок на рік

$$N_i = M_{\text{pi}} / \Pi_{\text{ci}} .$$

Необхідний загальний час роботи печі

$$T_z = \sum_{i=1}^n T_i.$$

Необхідний час роботи печі для обробки і-го виробу

$$T_i = N_i \cdot \tau_{\text{заг } i}$$

Визначимо кількість печей $Pr = T_z / \Phi_d$,

де Φ_d – річний фонд часу роботи обладнання.

$$\Phi_d = D_{\text{роб.}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot K_{\text{вик}},$$

де $D_{\text{роб.}}$ – кількість робочих днів за рік,

$K_{\text{зм}}$ – кількість змін за добу,

$T_{\text{зм}}$ – тривалість однієї зміни, год,

$K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання часу роботи обладнання, $K_{\text{вик}} = 0,94 \dots 0,96$.

$$\Phi_d = 250 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 0,95 = 3800 \text{ год.}$$

Коефіцієнт завантаження розраховують за формулою:

$$K_z = Pr / P_{\text{пр.}}$$

Обладнання – СНЗ – 11.22.7/10,

Операція ТО – гартування

Таблиця 3.4 – Номенклатура кількості виробів зі сплаву 4Х5МФ1С для операції гартування

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма M_{p_i}		Садка P_{c_i}		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{заг_i}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
Штамповий інструмент	4Х5МФ1С	870	919	800000	2	1740	459	24	11016

Для проведення гартування кількість печей: $Pr_{ц} = 11016/3800 = 2,89$ шт, приймаємо за 3 шт. $K_{з_г} = 2,89/3 = 0,96$.

Обладнання – СНЗ – 11.22.7/7 з

Операція ТО – відпускання

Таблиця 3.4 - Номенклатура кількості виробів зі сплаву 4Х5МФ1С для операції відпускання

Назва виробу	Матеріал	Маса виробу m_i , кг	Річна програма M_{p_i}		Садка P_{c_i}		Кількість садок на рік N_i , шт	Загальний час обробки садки $\tau_{заг_i}$, год.	Необхідний час роботи печі T_i , год.
			шт.	кг	шт.	кг			
Штамповий інструмент	5ХНМ	870	919	800000	2	1740	459	21,5	9868,5

Для проведення відпускання кількість печей: $Pr_{\text{ц}} = 9,868,5/3800 = 2,59$ шт, приймаємо 3 шт. $Kз_{\text{в}} = 2,59/3 = 0,86$.

Розробка плану діляниці (відділення, цеху) та вантажопотоків

При проектуванні діляниці (відділення, цеху) розраховують площу для розташування обладнання, допоміжних служб, проходів, проїздів.

Загальна площа визначається наступним чином:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{кор}} + P_{\text{доп}} + P_{\text{прох}},$$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна виробнича площа, необхідна для розташування обладнання;

$P_{\text{доп}}$ – допоміжна площа, необхідна для розташування технологічного оснащення, деталей до та після термічної обробки, технологічних та допоміжних матеріалів, для організації міжопераційних складів, місць для формування садок та ін.;

$P_{\text{прох}}$ – площа проходів та проїздів.

При визначенні $P_{\text{кор}}$ користуються нормативами питомої площі, необхідної для розташування одиниці обладнання (печі, установки, агрегату), $\text{м}^2/\text{одиницю}$ обладнання для діляниці (відділення) з термообробки виробів, які пройшли механічну обробку, оснащеної обладнанням періодичної дії – 40...90 м^2 на одиницю обладнання.

$$\text{Отже, } P_{\text{кор}} = 35\text{м}^2 \cdot 18\text{шт} = 630\text{м}^2.$$

Площі ділянок для складування виробів, оснащення $P_{\text{доп}}$ та площа проходів $P_{\text{прох}}$ визначається як частка від $P_{\text{кор}}$: $P_{\text{доп}} \approx 0,25P_{\text{кор}}$; $P_{\text{прох}} \approx 0,25P_{\text{кор}}$.

$$\text{Тоді, } P_{\text{доп}} = 630 \cdot 0,25 = 157,5 \text{ м}^2, P_{\text{прох}} = 630 \cdot 0,25 = 157,5 \text{ м}^2.$$

$$P_{\text{заг}} = 630 + 157,5 + 157,5 = 945\text{м}^2.$$

Термічні підрозділи розташовують в одноетажних спорудах прямокутної форми, це забезпечує ефективне виведення шкідливих викидів природним шляхом (аерацією). Термічні відділення розташовують в відповідному цеху (ливарному, ковальському, інструментальному,

механічному), термічні цехи – в окремій будівлі. Для їх спорудження використовують збірні залізобетонні конструкції, які порівняно з металевими значно економічніше, вимагають менше витрат металу, менше кородують.

Уніфіковані габаритні схеми одноповерхневих промислових будівель вибирають у відповідності із ГОСТ 23837-79, який передбачає певну відстань між колонами, ширину прольотів. Відділення (цех) можуть мати один (два) прольоти ширина яких дорівнює 12, 18, 24, 30 або 36 м. Довжина визначається за допомогою рівняння: $L = \Pi_{\text{заг}}/B$, де B – загальна ширина відділення (цеху). Ширину ділянки B приймаємо 12м. $L = 945/12 = 78,75$ м.

Довжина приймається кратною відстані між колонами. Відстань між колонами по зовнішнім стінам дорівнює 6м, по середньому ряду колон між прольотами – 12 м.

Враховуючи відстань між колонами – 6м, розраховуємо кількість прольотів: $l = L/6$, $l = 78,75/6 = 13,125$. Приймаємо кількість прольотів – 13шт.

Для виконання підйомно-транспортних операцій, завантаження та розвантаження обладнання, ремонтів обладнання використовуємо кран-балки.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при виробництві дисків штампів для гарячого деформування.

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 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 основою 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. Технические условия».

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 виключає 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'єктивами-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 нервово-емоційній 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, шиї, 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 шиї, 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

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 кондиціювання», визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції,

кондиціювання 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-IIIа и П-III) визначених згідно НПАОП 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);
- швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту.

Також для захисту людей від небезпек, що виникають внаслідок надзвичайних ситуацій у мирний час або у разі впливи 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 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Дослідження термічної обробки штампових сталей та проектування термічного відділення інструментального цеху для виготовлення штампового інструменту є справжньою необхідністю в сучасному виробничому середовищі. З огляду на постійний розвиток промисловості та зростаючий попит на високоякісні вироби, оптимізація технологічних процесів стає ключовою умовою успіху підприємств.

Маркетингова стратегія, спрямована на підвищення якості продукції, може стати вирішальною для забезпечення конкурентоспроможності на ринку. Результати дослідження термічної обробки вказують на можливості покращення властивостей штампових сталей, що в свою чергу вплине на якість виробленого інструменту. Оптимізація виробничих процесів та створення ефективних виробничих площ дозволяють знизити витрати та підвищити прибутковість. Це може бути вирішальним фактором при виборі підприємства для співпраці зі сторони клієнтів, оскільки ефективне виробництво дозволяє швидше відгукуватися на їхні потреби.

Зростаючий попит на інструменти у будівельній та виробничій галузях створює перспективи для ринкового успіху. Маркетингова комунікація може акцентувати увагу на тому, як нові технології та підходи у виробництві забезпечують надійний та ефективний інструмент для виробничих потреб.

Не слід також забувати про екологічні аспекти. Сучасні споживачі все більше звертають увагу на екологічність виробництва. Виробництво інструментів з урахуванням енергоефективності та зменшення викидів може стати додатковим аргументом у підтримку продукції підприємства.

У підсумку, впровадження результатів дослідження та оптимізація виробничих процесів не лише підвищать конкурентоспроможність, але й

дозволять створити позитивний імідж підприємства, залучити нових клієнтів та забезпечити стійкий розвиток бізнесу в цій галузі.

Більш тісна інтеграція маркетингу та досліджень у галузі термічної обробки штампових сталей також відкриває нові можливості для підприємства. Комунікація результатів досліджень на ринку може слугувати не лише засобом просування продукції, але й створення експертного іміджу. Здатність пояснити переваги нових технологій для клієнтів та партнерів може визначити успіх у вирішенні їхніх завдань.

Паралельно з цим, маркетинг може активно використовувати концепцію річної програми виготовлення для створення стратегій продажу та планування рекламних кампаній. Розуміння ринкових тенденцій, сезонних змін в попиті та здатність адаптувати виробництво до потреб клієнтів дозволяє ефективно працювати з великими обсягами виробництва.

Крім того, стійка взаємодія з клієнтами та партнерами може бути досягнута шляхом створення програм лояльності, де високоякісний та інноваційний штамповий інструмент виступає як ключовий елемент. Взаєморозуміння потреб та вчасне впровадження вдосконалень можуть суттєво підвищити конкурентоспроможність на ринку.

Таким чином, об'єднання досліджень та маркетингових стратегій у галузі термічної обробки стає важливим етапом для підприємства, що прагне не лише виготовляти високоякісний інструмент, але і успішно впроваджувати його на ринку, отримуючи підтримку та визнання споживачів.

У вигляді маркетингового підходу, важливо звернутися до аспектів корпоративної відповідальності та сталого розвитку. Розкриття того, як підприємство дбає про екологічні стандарти виробництва, використання відновлювальних ресурсів, та впровадження зелених технологій може сприяти формуванню позитивного сприйняття бренду в очах споживачів.

В цілому, інтеграція маркетингових стратегій та результатів досліджень у галузі термічної обробки штампових сталей не лише забезпечить успішну

реалізацію продукції, але й створить підґрунтя для довгострокових стосунків з клієнтами, сталими продажами та визнанням в індустрії.

5.2 Послідовний аналіз

У цьому дослідженні було проведено аналіз напрямків застосування продукції та переваг для споживачів, який був представлений у табл. 5.1. Забезпечено вичерпне уявлення про суть ідеї та можливі базові потенційні ринки, на яких варто зосереджуватися при визначенні груп потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
Дослідження термічної обробки штампових сталей з метою проектування термічного відділення інструментального цеху для виготовлення штампового інструменту	Виготовлення прес-форм, оптимізація термічного циклу обробки, підвищення якості інструментальної сталі.	Поліпшення фізико-механічних властивостей прес-форм, зниження витрат на виробництво за рахунок оптимізації термічного циклу, збільшення ресурсу роботи інструментарію завдяки вищій якості сталі.

Тим самим, запропонована технологія відкриває можливість отримати суттєві конкурентні переваги на ринку транспортних засобів та енергетичного обладнання. Її впровадження сприятиме підвищенню ефективності, надійності та енергоефективності вироблених продуктів, що в свою чергу може визначити успіх підприємства в даному сегменті ринку. Крім того, ця технологія може відкривати нові можливості для розвитку інноваційних продуктів та встановлення стандартів якості, що є важливими факторами в конкурентному середовищі.

Таблиця 5.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	ПрАТ "Інструментальний завод", ТОВ "ШтампМаш" Зарубіжні виробники штампового обладнання (наприклад, Schuler AG, Komatsu).
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стабільний попит з тенденцією до зростання через розвиток виробничих потужностей.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вступні інвестиції, необхідність сертифікації продукції.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дотримання стандартів ISO 9001:2015, українські державні стандарти (ДСТУ) для інструментальних сталей та штампового устаткування, вимоги Технічного регламенту на машини та обладнання.

Таким чином, існує перспективний попит на ринку від виробників штампових інструментів. Для успішного виходу на цей ринок необхідно здійснити інвестиції у відповідне обладнання та сертифікацію послуг з метою забезпечення конкурентоздатності. Ми вивчили та визначили потенційні

групи клієнтів, їх характеристики, та сформуvalи орієнтований перелік вимог до продукції для кожної з цих груп (див. 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)
Висока зносостійкість інструментальних сталей, потреба в точності штампованих виробів.	Підприємства машинобудівної та автомобільної галузі, виробники побутової техніки.	Великі виробники вимагають високої точності та довговічності, малі - більшої гнучкості та коротших термінів поставки.	Висока якість продукції, тривалий термін служби інструменту, конкурентоспроможні ціни.

Аналіз SWOT є ефективним інструментом для оцінки сильних і слабких сторін, а також можливостей і загроз у рамках конкретного проекту чи ініціативи. У випадку інноваційного проекту, такий аналіз може допомогти виділити фактори, які можуть сприяти або заважати успішній його реалізації. Ми провели SWOT-аналіз для середовища реалізації інноваційного проекту, і його результати наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
Використання інноваційних технологій термічної обробки, підвищення якості кінцевого продукту, зниження виробничих витрат, збільшення продуктивності праці, розширення асортименту інструментальних сталей.	Висока вартість впровадження нових технологій, необхідність кваліфікованих кадрів, ризик залежності від одного або кількох постачальників сировини.
Можливості:	Загрози:
Зростання ринкової частки за рахунок виходу на нові ринки, можливість укладення довгострокових контрактів з партнерами, інтеграція сучасних екологічних стандартів та практик.	Зміни у законодавстві, що впливають на виробничі процеси, висока конкуренція зі сторони іноземних виробників, можливе зниження попиту через економічні коливання.

SWOT-аналіз є потужним інструментом для з'ясування внутрішніх і зовнішніх факторів, які можуть суттєво впливати на успіх інноваційного проекту. Цей аналіз дозволяє ретельно вивчити сильні та слабкі сторони внутрішньої діяльності, а також визначити можливості та загрози, що виникають у зовнішньому середовищі.

У свою чергу, ці здобуті знання стають основою для розробки стратегій, які спрямовані на максимізацію переваг та мінімізацію ризиків. Інноваційний проект, підкріплений аналізом SWOT, може розроблятися з урахуванням своїх сильних сторін, ефективно враховувати слабкі сторони, експлуатувати можливості та розробляти стратегії врегулювання можливих загроз.

SWOT-аналіз сприяє розумінню внутрішніх та зовнішніх чинників, які можуть впливати на успіх інноваційного проекту, і допомагає розробити стратегії для максимізації переваг та мінімізації ризиків. У контексті розробки

ринкової стратегії перший крок передбачає визначення стратегії охоплення ринку, що включає опис цільових груп потенційних споживачів (див. 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	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Великі промислові підприємства, середні спеціалізовані заводи, стартапи у сфері високих технологій.	Висока у великих і середніх підприємств, помірна у стартапів..	1000 одиниць/рік для великих підприємств, 500 одиниць/рік для середніх заводів, Інтенсивність конкуренції в сегменті – Висока серед великих підприємств, середня для середніх заводів,	Висока серед великих підприємств, середня для середніх заводів, низька серед стартапів.	Складна для великих підприємств через високі вимоги до якості, середня для середніх заводів, легша для стартапів із зростаючим ринком..

Після проведення ідентифікації стейкхолдерів та їхнього пріоритизування була побудована Карта стейкхолдерів, яка відображає взаємозв'язки між різними стейкхолдерами в контексті інноваційного проекту. На цій карті розроблено три концентричні області, які віддзеркалюють всіх осіб, зацікавлених у проекті, враховуючи можливості впливу ініціатора проекту.

Внутрішня область на карті стейкхолдерів вказує на повноваження та відповідальності ініціатора проекту. В цьому контексті внутрішні зацікавлені сторони перебувають в прямому підпорядкуванні ініціатора, що створює ефективну структуру для адміністрування та управління проектом. Ця організаційна структура дозволяє використовувати ефективні методи управління та сприяє взаємороботі між внутрішніми стейкхолдерами для досягнення поставлених цілей і завдань проекту. Визначення ролей та взаємодія з внутрішніми стейкхолдерами є ключовим елементом успішної реалізації інноваційного проекту.



Рисунок 5.1 - Карта стейкхолдерів

У процесі виконання даної роботи задіяні були наступні трудові ресурси: науковий керівник, старший науковий співробітник, що здійснює безпосередній контроль та приймає участь у всіх етапах дослідження, інженер-дослідник, відповідальний за проведення експериментів, обробку та аналіз результатів, та лаборант, що бере участь у виконанні дослідження. Вони виконують свої обов'язки, забезпечуючи технічну базу дослідження, налаштування та підтримку експлуатації обладнання, попередній аналіз результатів та надання консультацій.

Вартість оплати праці була визначена з урахуванням балансу робочого часу для кожного працівника. Ці витрати включають в себе плановий фонд зарплати всіх категорій працівників, що брали участь у проведенні досліджень (див. таблицю 5.6). З урахуванням важливості кожного члена команди була встановлена спільна робоча динаміка, що гарантує високу якість виконання дослідження.

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	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Науковий керівник	1	20000	20	4000	24000	288000	63360
Провідний інженер	2	16000	20	3200	19200	230400	50768
Інженер-технолог	3	14000	20	2800	16800	201600	44432
Лаборант	2	12000	20	2400	14400	172800	38016
Разом	8	62000	-	12400	74400	892800	196576

Розрахунок витрат на матеріали охоплює витрати на придбання ключових матеріалів для проведення досліджень, а також виготовлення макетів та дослідних зразків (див. таблицю 5.7).

Таблиця 5.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Ендогаз	м ³	500	280	140000
Заготовки	шт	12	6250	75000
Тара	шт	12	400	5000
Гази	м ³	100	1200	120000
Масло	л	5	750	3750
Запчастини	комплект	2	85000	170000
Реактиви для аналізу	комплект	3	5000	15000
Препарати	набір	2	11000	22000
Витратні матеріали	-	-	-	10000
Разом	-	-	-	497750

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

Таблиця 5.8 – Розрахунок вартості спожитих послуг

Вид послуг	Одиниця виміру	Кількість	Тариф, грн	Сума, грн
Електропостачання	кВт·год	2500	5,5	13750
Водопостачання	м ³	10	28	280
Теплопостачання	Гкал	5	1850	9250
Ендогаз	м ³	500	320	160000
Сертифікація	послуга	1	65000	65000
Утилізація відходів	тонна	0,5	3700	1850
Охоронна сигналізація	місяць	12	1350	16200
Разом	-	-	-	248380

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

Обладнання	Кількість	Вартість, грн	Загальна вартість, грн	Річна амортизація (20%), грн	Поточний ремонт (2%), грн
Шліфувальний станок	1	2 500 000	2 500 000	500 000	50 000
Піч СНЗ	1	850 000	850 000	170 000	17 000
Твердомір	2	65 000	130 000	26 000	2 600
Мікроскоп	1	250 000	250 000	50 000	5 000
Комп'ютер	3	32 000	96 000	19 200	1 920
Разом	-	-	3 826 000	765 200	76 520

Враховано основне устаткування: лазерна установка, вакуумна піч, твердоміри, мікроскоп та комп'ютери. Загальна річна сума амортизації з урахуванням ремонту складає 841 720 грн.

Відображаємо кошторис витрат на основі даних, вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 5.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Таблиця 5.10 – Кошторис витрат

Стаття витрат	Сума, грн
Фонд заробітної плати	878400
ЄСВ	193338
Матеріальні витрати	497750
Вартість послуг	248380

Стаття витрат	Сума, грн
Амортизація обладнання	765200
Поточний ремонт	76520
Виробнича собівартість	2 577 588
Адміністративні витрати (20%)	515 518
Повна собівартість	3093106

Розрахунок економічного ефекту виконувався на основі того, що порівнювався економічний ефект від базової термічної обробки штампових сталей та удосконаленої технології термічного оброблення.

Таблиця 5.11 - Порівняння стандартної технології та лазерної

Показник	Од. виміру	Стандартна технологія	Нова технологія
Собівартість матриці	грн	380	420
Ресурс штампування	підходів	150	250
Кількість ремонту протягом трьох років	шт	2	1
Витрати на ремонт	грн	760	420
Економія витрат на 1 двигун	грн	-	340
Річний економічний ефект	млн грн	-	340

Удосконалена технологія термічної обробки штампової сталі, хоча може виявитися дорожчою у виробництві порівняно зі стандартною технологією, виправдовує себе завдяки значному економічному ефекту. Основним плюсом є подовження ресурсу роботи продукції вдвічі.

Цей економічний вииграш базується на тому, що, навіть при вищій собівартості виробництва, продукція, яка пройшла удосконалену термічну обробку, виявляється більш довговічною. Зменшення частоти заміни та

ремонту виробів може призвести до зниження загальних витрат на експлуатацію та технічне обслуговування.

Такий підхід сприяє ефективнішому використанню ресурсів та зниженню витрат на обслуговування обладнання. Крім того, продукція, яка має подовжений термін служби, може мати конкурентні переваги на ринку завдяки вищій якості та надійності.

Отже, не зважаючи на початкову вищу собівартість, удосконалена технологія термічної обробки може призвести до значних економічних вигод завдяки підвищенню тривалості служби виробів і зменшенню витрат на їхнє утримання.

ВИСНОВКИ

Розглянуто експлуатаційні характеристики штампових інструментів та вимоги, які висуваються до матеріалу.

Досліджено вплив температури гартування і відпускання на зміну твердості сталі 4X5MΦ1C. Показано, що сталь цієї марки схильна до вторинного твердіння за температур близько 550°C.

Вивчено вплив температури відпуску на зносостійкість цієї сталі. Виявлено оптимальну температуру відпуску, що відповідає максимальній зносостійкості. Розроблено графік термічної обробки та розраховано план термічної ділянки. Розраховано економічний ефект від результатів дослідження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Altan T. Sheet metal forming: processes and applications / T Altan, A.E Tekkaya // Ohio:ASM International – 2012 – 365 p.
2. Кузьменко Е.А. Фактори, що визначають стійкість штампів холодного видавлювання / Е. А. Кузьменко, В. І. Кузьменко, Т. А. Христофорова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ», 2016 – № 31(1203). – С. 50–56.
3. Kuzmenko E. A. Uluchshenie shtampuemosti doevtektoidnyih staley v protsessah holodnogo deformirovaniya [Improvement of ability to stamping of hypoeutectoid steel in processes of cold deformation] / E. A Kuzmenko // Obrabotka metallov davleniem – 2008 – № 1(19) – P. 163–167.
4. Arslan E. Evaluation of the Microstructure of AISI D2 Steel by Magnetic Barkhausen Noise Technique / E. Arslan, Ö.F. Murathan, K. Davut, V Kilicli // Conference: 18th International Metallurgy, Materials Congress (IMMC2016). – 2016 – 26(2-4), 107 – 113.
5. Околович Г. А. Штамповые стали для холодного деформирования металлов / Г. А Околович // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні – 2010 – С – 202.
6. Davis J. R. ASM Speciality Handbook Stainless Steels (Asm Specialty Handbook) / J. R. Davis // ASM International – 1995 – 600 p
7. Zhu J, Zhang Z., Xie J. Improving strength and ductility of H13 die steel by pre-tempering treatment and its mechanism / J Zhu, Z. Zhang., J Xie //Materials Science and Engineering: A. – 2019. – Т. 752. – С. 101-114.
8. Koshy P., Dewes R. C., Aspinwall D. K. High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel (~ 58 HRC) / P. Koshy, R. C. Dewes, D. K Aspinwall //Journal of Materials Processing Technology. – 2002. – Т. 127. – №. 2. – С. 266-273.

9. Lazutkina N. A. Research of high-chromium tool steel X12M / M. A. Lazutkina, Yu. L. Shirokov, d. V. Bezrukov // New materials and technologies in machine building – 2006 – № 6 – pp. 92 – 93.
10. Основи фізико-технічних та хіміко-термічних процесів для підвищення ресурсу виробів машинобудування. Навчальний посібник / Уклад. С.П. Гожій // Київ: КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 104 с.
11. [Dossett J.L](#), [Totten E. G](#). Salt Bath Heat Treatment and Equipment / [J. L. Dossett](#), [G. E Totten](#) // ASM International – 2014 – 412 p.
12. Greenberg J. H. Industrial Thermal Processing Equipment Handbook [Текст] / J. H. Greenberg // Asm International. 1994 – 400 p.
13. Корнілова А.В., Ідармачов І.М. Методи дослідження ушкоджуваності штамів та способи збільшення довговічності штампового інструменту / О.В. Корнілова, І.М Ідармачов // Зб. наукових тр. міжнар. науково-технічні. конф. «Досягнення та проблеми розвитку технологій та машин обробки металів тиском» – Краматорск – 2013 – С. 265–270.
14. Mix P. E. Introduction to nondestructive testing: a training guide / P. E Mix // Wiley-Interscience; 2nd edition – 1987 – 712 p.

ДОДАТОК А