Форма № 24

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 Дослідження можливостей підвищення експлуатаційних властивостей пружин
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи ІФ213м

Спеціальності 132 Матеріалознавство
(код і найменування спеціальності)
Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство
ШПОРТ О.В
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)
Керівник КЛИМОВ О.В
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)
Рецензент_____
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2024

Форма № 25

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)

_____ШПОРТ Олександр Вікторович_____
(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження можливостей підвищення експлуатаційних властивостей пружин_____

керівник проєкту (роботи) доцент, к.т.н КЛИМОВ Олександр Володимирович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)
затверджені наказом закладу вищої освіти від «_____»_____20_____року №___

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 24.12.2024

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) зразки зі сталі 60С2ХА, вимоги до експлуатації пружин_____
_____
_____
_____
_____

_____4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Літературний огляд, матеріали та методика, експериментальна частина, розрахунок економічної ефективності, охорона праці_____

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

презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, 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

/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
	Особливості вибору матеріалу та термічної обробки для пружин		
	Матеріали та методика досліджень		
	Експериментальна частина		
	Економіко-організаційна частина		
	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях		

Студент(ка) _____ __ Олександр ШПОРТ_____
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____ __Олександр КЛИМОВ_____
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 81 с., 16 рис., 15 табл., 17 джерел

ПРУЖИНИ, ГАРЯЧЕ НАВИВАННЯ, ЗНЕВУГЛЕЦЮВАННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, ТВЕРДІСТЬ, ЛЕГУВАННЯ, МОДИФІКУВАННЯ, СТРУКТУРА, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ГАРТУВАННЯ, ЕКОНОМІНИЙ ЕФЕКТ, ОХОРОНА ПРАЦІ

Дослідження експлуатаційних характеристик та технологічних особливостей пружин зі сталі 60С2ХА спрямоване на визначення оптимальних умов їх виробництва та експлуатації. У роботі проаналізовано різні типи пружин та їх застосування в промисловості, зокрема в залізничному транспорті, машинобудуванні та приладобудуванні.

Особлива увага приділяється впливу легуючих елементів, таких як кремній, хром та марганець, на формування механічних властивостей сталі 60С2ХА. Досліджено структурні перетворення, що відбуваються під час термічної обробки після гарячого навивання пружин, та їх вплив на експлуатаційні характеристики виробів.

Важливим аспектом дослідження є аналіз причин зневуглецювання пружин залізничного составу та розробка методів запобігання цьому явищу. Розглянуто механізми деградації механічних властивостей під час експлуатації та фактори, що впливають на довговічність пружин.

ЗМІСТ

Вступ 7
1 Особливості вибору матеріалу та термічної обробки для пружин 8
1.1 Основні види пружин і умови експлуатації 8
1.2 Класифікація матеріалів для виготовлення пружин та основні вимоги до них 14
1.2.1 Чинники, що впливають на підвищення властивостей пружин 14
1.2.1 Класифікація матеріалів, які використовуються для виготовлення пружин 17
1.2.3 Ресоро-пружинні сталі загального призначення 19
1.3 Термічна обробка пружин 22
1.4 Структура і властивості пружинних сталей 27
2 Матеріали та методика досліджнь 30
2.1 Хімічний склад матеріалів для виготовлення пружин залізничного транспорту 30
2.2 Дослідження мікроструктури зразків 30
2.2.1 Приготування зразків для досліджень 30
2.2.1 Дослідження мікроструктури МИМ-8 31
3 Дослідження можливостей підвищення експлуатаційних властивостей пружин 34
3.1 Вплив легувальних елементів на властивості пружин 34
3.2 Технологія виготовлення та термічна обробка пружин 37
4 Економіко-організаційна частина 47
4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу 47
4.2 Послідовний аналіз 48
4.3 Розрахунок економічного ефекту при впровадження результатів НДР 59
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях 63
5.1 Аналіз потенційних небезпек 63

5.2 Заходи забезпечення безпеки 64
5.3 Заходи з виробничої санітарії 68
5.4 Заходи з пожежної безпеки 69
5.5 Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій 71
Висновки 76
Перелік джерел посилань посилань 77

ВСТУП

Пружина - це механічний елемент, який здатний накопичувати енергію через тимчасову деформацію під навантаженням та повертатися до початкового стану після його зняття, вивільняючи накопичену енергію.

У конструкції машин та механізмів пружні елементи (пружини та ресори) відіграють ключову роль, оскільки постійно піддаються циклічним навантаженням. Ці компоненти повинні витримувати значні статичні та ударні навантаження, зберігаючи здатність відновлювати початкові параметри після деформації. Для запобігання незворотних деформацій матеріал пружин має відповідати високим вимогам щодо пружності, міцності, витривалості, достатньої пластичності та стійкості до руйнування і релаксації напружень.

Важливим фактором надійної та тривалої експлуатації пружин є технологія їх виробництва. Значимість дослідження цієї теми обумовлена повсюдним використанням пружин як невід'ємних компонентів у різноманітних машинобудівних застосуваннях.

1 ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ ПРУЖИН

Пружина - це компонент механізму, який функціонує на принципі накопичення та вивільнення механічної енергії за рахунок пружних властивостей при деформації. Пружинні елементи є невід'ємною частиною різноманітного механічного обладнання. Їх активно використовують у багатьох галузях промисловості: від залізничної техніки до авіаційної індустрії, включаючи автомобільне виробництво, машинобудування та приладобудування. У годинникових механізмах пружини виконують роль джерела енергії. Також вони є важливими компонентами у конструкції вогнепальної зброї, двигунів внутрішнього згоряння та інших технічних пристроїв. Якість виготовлення пружин безпосередньо впливає на експлуатаційну надійність та стабільність роботи механічних систем [1].

1.1 Основні види пружин і умови експлуатації

Класифікація пружин здійснюється за характером сприйманого навантаження, включаючи стискування, розтягування, кручення та вигин [1,2].

Пружини стискування характеризуються змінним кроком між витками, який зменшується під дією навантаження. Їх особливістю є спеціально оброблені опорні поверхні на крайніх витках (торцювання), що забезпечує рівномірний розподіл осьового навантаження. Основна функція таких пружин полягає в акумулюванні енергії під час стискання для подальшого протидіяння прикладеному навантаженню.

При роботі на стиск пружини піддаються подовжньо-осьовому навантаженню, після зняття якого повертаються у вихідне положення. За конструкцією опорних площин розрізняють пружини з непритиснутими та притиснутими (заточеними або шліфованими) крайніми витками. Притиснуті витки потребують ретельної обробки для забезпечення перпендикулярності опорних площин відносно осі пружини. На довжині 3/4 витка від кінця формується опорна площина шляхом попередньої обробки та фінального шліфування. Ці неробочі витки практично не беруть участі в деформації.

Для високих навантажень застосовують складові конструкції з концентрично розташованих пружин стискання. Для запобігання закручуванню опор та перекосам використовують чергування правої та лівої навивки в концентричних пружинах.

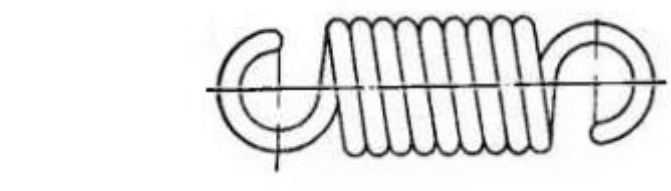
Пружини розтягування призначені для роботи при збільшенні довжини під навантаженням. У вільному стані їх витки щільно прилягають один до одного. Характерною конструктивною особливістю є наявність гачків або кілець на кінцях для кріплення. За оформленням торців розрізняють два основні типи: пружини без кілець зі спеціальними гвинтовими пробками (рисунок 1.1, в) та пружини з різноманітними кільцями (рисунок 1.1, а, б).

Для монтажу пружин у конструкціях використовуються спеціальні кріпильні елементи - гвинтові пробки та кільця. Конструктивно пружини розтягування можуть мати циліндричну, конічну або бочкоподібну геометрію. Виробництво пружин розтягування здійснюється переважно з дроту діаметром від 0,2 до 8 мм. У окремих випадках застосовується дріт більшого діаметру - понад 10 мм. Характерним прикладом використання товстого дроту (19-20 мм) є виготовлення пружин для специфічних промислових застосувань, таких як пантографи електровозів, механізми підйому крил комбайнів та вузли сільськогосподарської техніки.

Пружини кручення працюють на скручування пружини навколо її осі. При цьому кінці пружини повертаються один відносно одного на деякий кут. У ненавантаженому стані зазвичай мають витки, що щільно прилягають один

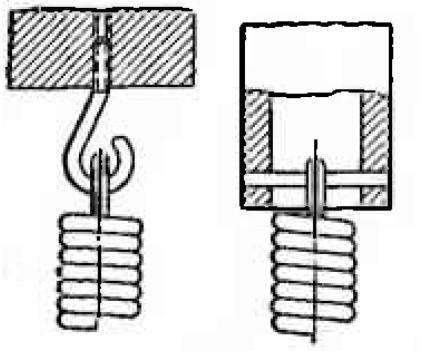
до одного. Кінці пружин кручення виконуються у вигляді прямих або зігнутих зачепів різної довжини та конфігурації.

Пружини згину застосовуються значно рідше інших типів і працюють на згин. Їх виготовляють з дроту або стрічки у вигляді спіралей, завитих у площині. Такі пружини використовуються в основному в приладах і точних механізмах. За формою перерізу дроту або прутка розрізняють пружини круглого, квадратного, прямокутного та інших перерізів.



а

б



в

а – загальний вигляд пружин; б – кільця без дроту; в – кільця в конструкціях

Рисунок 1.1 – Вигляд торцевих кілець пружин розтягнення [1]

Гвинтові пробки та кільця є елементами кріплення пружин в конструкціях. За геометрією пружини розтягування виготовляються у трьох основних формах: циліндричній, конічній та бочкоподібній. Стандартний

діапазон діаметру дроту для виробництва пружин розтягування становить 0,2-8 мм, хоча в окремих випадках використовується дріт діаметром понад 10 мм. Зокрема, дріт діаметром 19-20 мм застосовується при виготовленні пружин для пантографів електровозів, механізмів підйому крил комбайнів та інших сільськогосподарських механізмів.

Пружини кручення функціонують під дією пари сил, що створюють крутний момент у площинах, перпендикулярних осі пружини (рисунок 1.2). Їх поділяють на два основні типи [1]:

- торсіонні - характеризуються подовженим стрижнем, що працює на кручення;

- кручені - застосовуються в побутових та офісних механізмах (мишоловки, прищіпки для білизни, канцелярські дироколи), де відбувається циклічне скручування та розкручування пружини.

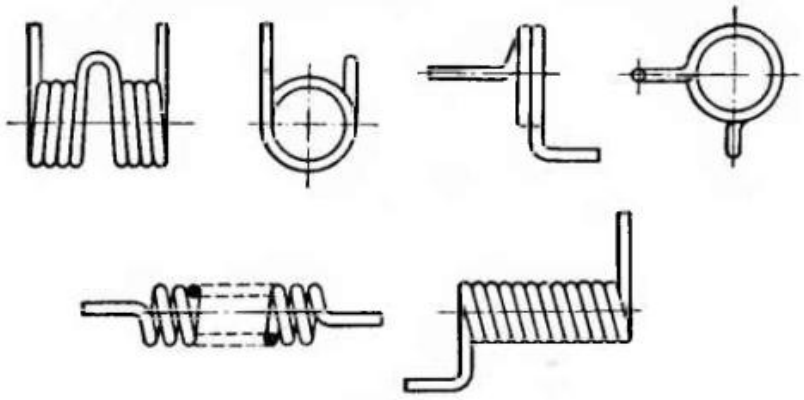


Рисунок 1.2 – Схематичний вигляд пружин кручення

Пружини згину відрізняються простотою конструкції та різноманітністю форм. До них належать торсіонні пристрої, стопорні кільця та шайби, пружні затискачі та елементи реле. Їх основне призначення - передача пружних деформацій при малих змінах геометричних параметрів як одиночної пружини, так і пружинних пакетів, таких як ресори чи тарілчасті пружини. За конструктивними особливостями та формою пружини класифікують на кручені циліндричні (гвинтові), кручені конічні (використовуються в

амортизаторах), тарілчасті, пластинчасті, торсіонні, рідинні, газові, плоскі, спіральні.

Види пружин та їх застосування можна класифікувати наступним чином:

Гвинтові пружини є найбільш поширеним типом, що знаходить застосування від автомобільних підвісок до побутових предметів, таких як кулькові ручки. Вони виготовляються як з постійним діаметром витків (циліндричні), так і зі змінним (конічні), останні часто використовуються в амортизаторах [1-3].

Торсійні пружини, хоч і подібні до гвинтових за конструкцією, функціонують на принципі кручення або вигину. Їх можна зустріти в маятникових механізмах, вимірювальних приладах, підвісках вантажних автомобілів, а також у системах відкривання воріт та противагах.

Спіральні пружини являють собою плоскі конструкції зі спірально закрученої стрічки. Завдяки здатності накопичувати потенційну енергію в стисненому стані, вони широко застосовуються в годинникових механізмах та самописних приладах.

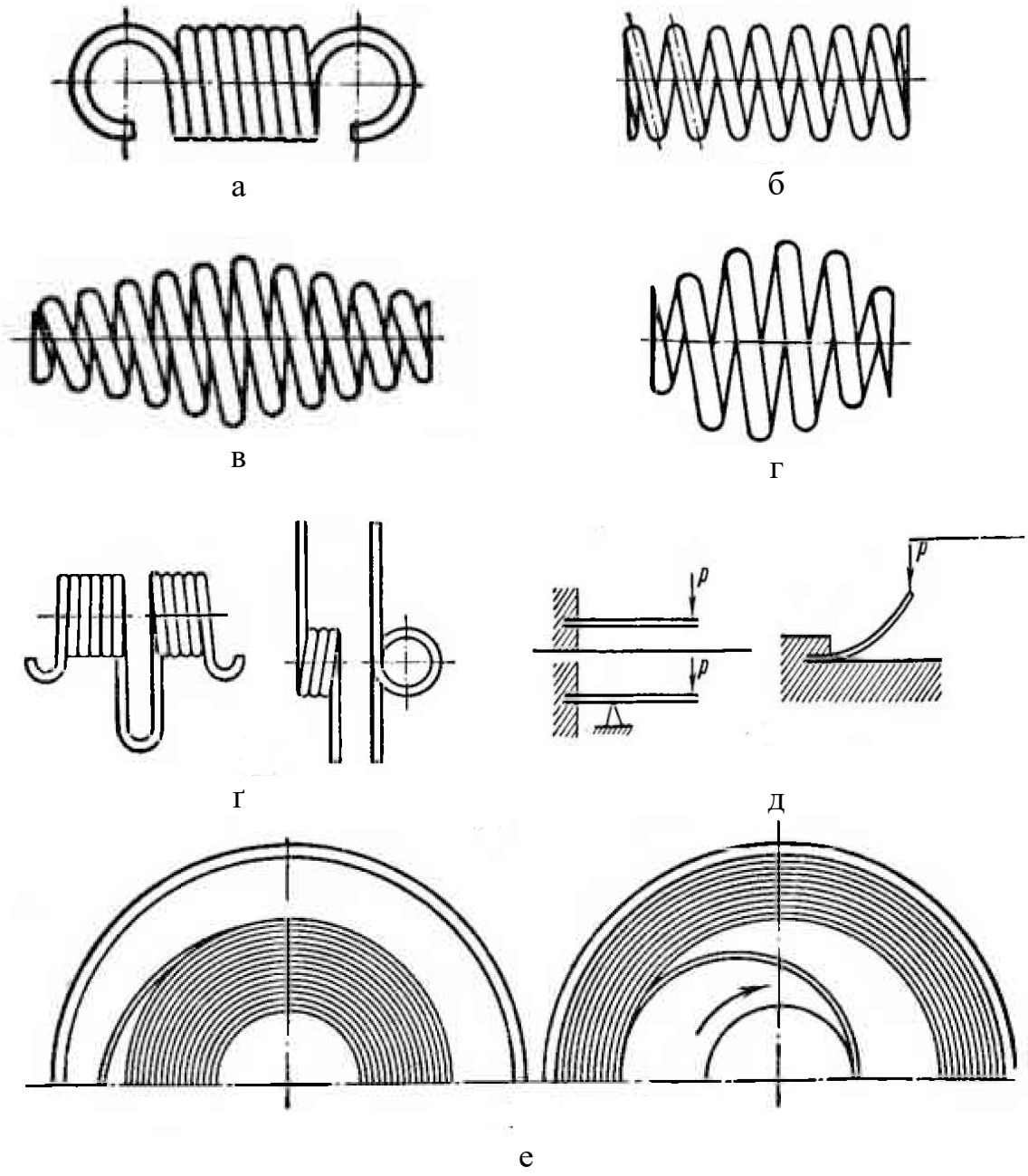
Тарілчасті пружини складаються з послідовно з'єднаних дисків-тарілок і вирізняються високою стійкістю до деформації при значних навантаженнях. Це робить їх незамінними в запобіжних клапанах та гальмівних системах ліфтів і залізничного транспорту.

Хвильові пружини виготовляються у вигляді синусоїдально вигнутої металевої стрічки, що спірально обвивається навколо осі. Їх компактність дозволяє оптимізувати розміри механізмів, особливо в високоточних системах, таких як підшипники, опорні вузли та трубопровідна арматура. Вони можуть використовуватися як альтернатива тарілчастим пружинам.

Газові пружини мають унікальну конструкцію, що складається з газонаповненого циліндра та поршня замість традиційного дроту. Вони широко застосовуються у виробництві меблів та автомобілів для створення підйомних і розкладних механізмів [3].

Витi пружини класифікуються залежно від форми, способу виготовлення, напряму навивки, призначення за характером роботи.

За формою пружини в основному поділяються на циліндричні, конічні, фасонні, плоскі і спіральні (рисунок 1.3).



а, б – циліндричні; в –конічні; г – бочкоподібні; ґ – фасонні; д – плоскі; е - спіральні

Рисунок 1.3 – Форми гвинтових пружин

Кручені пружини циліндричної, конічної та фасонної форми розрізняють за напрямком навивки: права навивка характеризується укладанням витків за годинниковою стрілкою, ліва - проти годинникової стрілки. За характером навантаження пружини поділяються на дві категорії: з періодичним навантаженням - працюють циклічно з певними інтервалами (такий режим роботи характерний для пружин у механізмах затворів, храпових механізмах, собачках та накатниках зброї), та з постійним навантаженням - працюють безперервно з плавною зміною навантаження (цей тип навантаження типовий для спіральних пружин у годинниках, динамометрах та інших вимірювальних приладах і механізмах).

1.2 Класифікація матеріалів для виготовлення пружин та основні вимоги до них

1.2.1 Чинники, що впливають на підвищення властивостей пружин

Ключова характеристика пружинних сплавів - їх опір малим пластичним деформаціям - найкраще визначається через умовну межу пружності, яка відповідає появі залишкової деформації порядку 10-3 % або точніше 10-4 %. Хоча для оцінки якості пружинних сплавів інколи використовують і межу пропорційності, межа пружності має перевагу не через величину допуску на залишкову деформацію, а завдяки більш точному визначенню при аналогічній методиці випробувань, оскільки вимірюється лише залишкова деформація після зняття навантаження. Важливо, що межа пружності безпосередньо показує рівень напружень, при якому виникає конкретна залишкова деформація. Технічна значущість межі пружності полягає в тому, що вона визначає граничні напруження, які не повинні перевищуватися під час експлуатації пружних елементів [4].

Підвищення порога пружності, і навіть границь мікроплинності чи пружності означає зростання ефективності перешкод як для незворотного, але й оборотного руху дислокацій. Звідси випливає, що з підвищенням межі пружності при заданій величині прикладених напружень не тільки зменшується ймовірність виникнення залишкової деформації при випадкових навантаженнях, а й меншою мірою розвиваються такі непружні явища, як гістерезис та пружна післядія. Нарешті, з підвищенням межі пружності збільшується і релаксаційна стійкість металів. Можна також очікувати, що при високій якості пружного елемента і відсутності в ньому концентраторів напружень його межа витривалості визначатиметься величиною порога (границі) пружності.

З цих причин основну увагу слід приділяти процесам, що підвищують межу пружності сплавів, що відрізняються різною природою зміцнення: 1) мартенситного перетворення; 2) деформаційному наклепу; 3) утворенню сегрегацій в окремих областях ґраток або на дефектах ґраток; 4) виділення другої високодисперсної та міцнішої фази [5].

Теорія дислокацій показує, що зміни у будові металу на початкових стадіях пластичної деформації, що відповідають границі пружності (мікроплиності), різко відрізняються від змін при значній пластичній деформації, що відповідають визначенню меж текучості та міцності чи твердості. Різний структурний стан сплавів, що виникає при визначенні властивостей, що характеризують опір малим і великим пластичним деформаціям, тобто межі пружності та межі міцності (або межі плинності та твердості), проявляється, зокрема, у тому, що модуль зміцнення в області мікропластичної деформації значно вище, ніж при макропластичній; різним виявляється вплив величини зерна. Відмінність у структурному стані можна ілюструвати й тим, що залежність цих властивостей функції різних параметрів обробки сплавів носить неоднаковий характер. Наприклад, при невеликих ступенях наклепу межа пружності знижується внаслідок розмноження легкорухливих дислокацій, а межа плинності зростає. Якщо в процесі

відпускання загартованої сталі зі зростанням сто температури або тривалості межі плинності та міцності знижуються майже безперервно, то межа пружності спочатку значно зростає аж до певних температур (або за певних витримок в ізотермічних умовах) і лише потім знижується. Легування деяких сплавів, зокрема заліза, також по-різному впливає на опір металу малим та великим пластичним деформаціям, причому зазвичай сильніше впливає на опір великим пластичним деформаціям [4,5].

Особливості пружинних сплавів зумовлені їх мікроструктурою - розподілом дефектів, домішок, легуючих елементів та надлишкових фаз, а також змінами цієї структури під навантаженням.

Для покращення характеристик існуючих та розробки нових пружинних сплавів найефективнішим є комбінування різних методів зміцнення. Показовим прикладом є патентований пружинний дріт, що поєднує кілька механізмів зміцнення: фазовий наклеп при перлітному перетворенні, орієнтацію цементиту завдяки підвищеному вмісту вуглецю, деформаційний наклеп при волочінні та старіння при низькотемпературній відпустці.

Термомеханічна обробка є особливо важливим комплексним методом зміцнення, що поєднує фазові перетворення з деформаційним наклепом. Цей метод ефективний для всіх типів пружинних сплавів: однофазних твердих розчинів, дисперсійно-твердіючих та мартенситних.

Мартенситне перетворення забезпечує значне зміцнення завдяки одночасній дії кількох процесів: подрібнення зерна, формування фрагментованої субструктури, утворення пересиченого вуглецем α-твердого розчину з подальшим перерозподілом атомів вуглецю. Додаткове зміцнення можливе через подрібнення зерна при повторному загартуванні з швидкісним нагріванням.

Легування - інший метод покращення властивостей, що поєднує різні механізми зміцнення. Хоча легуючі елементи (нікель, ванадій, кремній, хром) незначно підвищують опір мікропластичним деформаціям, вони суттєво впливають на модуль зміцнення сталей через затримку поперечного ковзання

дислокацій. Головна мета легування - підвищення структурної стабільності та релаксаційної стійкості. Тому важливо включати елементи, що підвищують енергію активації ковзання через утворення стабільних сегрегацій на дислокаціях, впливають на упорядкування матричної фази та енергію дефектів упаковки.

1.2.1 Класифікація матеріалів, які використовуються для виготовлення пружин

У промисловості застосовується широкий спектр пружинних сплавів, що зумовлено різноманітністю умов експлуатації, форм та розмірів пружних елементів, які вимагають специфічних механічних, фізико-хімічних та технологічних характеристик. Відповідно, пружинні сплави відрізняються за хімічним складом, структурою та методами термічної обробки.

Класифікація пружинних сплавів може здійснюватися за різними критеріями, зокрема за основними методами зміцнення. Особливу увагу варто приділити сплавам, що зміцнюються холодною пластичною деформацією з подальшим низькотемпературним нагріванням або відпалом.

До цієї категорії належать сталі з підвищеним вмістом вуглецю (0,4-8,0%), які піддаються зміцненню холодною пластичною деформацією після попередньої термічної обробки, з подальшим низьким відпуском. Попередня термічна обробка робить значний внесок у загальне зміцнення, причому структура, отримана під час термічної обробки, визначає ступінь зміцнення при холодній пластичній деформації.

При наклепі фазовий стан сталі залишається практично незмінним, модифікується лише тонка структура через збільшення щільності дислокацій. Подальший відпуск (старіння) знімає залишкові напруження, перерозподіляє

дислокації та формує на них сегрегації, що покращує межі пружності та релаксаційну стійкість [5,6].

До цієї групи також відносяться сталі аустенітного класу без фазових перетворень $\gamma \rightarrow \alpha$ або $\gamma \rightarrow \varepsilon$ при холодній пластичній деформації. При відпуску в них відбуваються структурні процеси, подібні до сталей перлітного класу, але з формуванням інших типів сегрегацій та дислокаційної структури.

Група включає також сплави міді (однофазні латуні та бронзи), молібдену, ренію, ніобію тощо. Холодна пластична деформація підвищує щільність дислокацій, які формують комірчасту субструктуру або плоскі скупчення, та змінює початковий розподіл атомів. Дорекристалізаційний відпал знімає залишкові напруження, перерозподіляє дислокації за механізмом полігонізації та модифікує розподіл атомів компонентів.

Характерною особливістю всіх сплавів цієї категорії є анізотропія пружних властивостей, яка найбільш виражена в деформованому стані та зменшується після відпуску внаслідок перерозподілу напружень і дислокацій [7].

Сталі і сплави, що зміцнюються внаслідок мартенситного перетворення. До цього класу відносяться вуглецеві і леговані сталі (у тому числі і мартенситно-старіючі), що зміцнюються в результаті мартенситного перетворення при гартуванні, а також нержавіючі сталі перехідного аустенітно-мартенситного класу, що зазнають мартенситного перетворення або при загартуванні або при деформаційному наклепі. У результаті мартенситного перетворення в сталях, що містять вуглець, в гратці виникають значні поля напружень у впроваджених атомів вуглецю, відбувається подрібнення кристалів різко збільшується густина дислокацій, що змінює субструктуру, утворюються сегрегації з атомів вуглецю в дислокаціях, а можливо, і виділяються надлишкові фази. Гартування мартенситно-старіючих сталей збільшує концентрацію легувальних елементів у твердому розчині і сильно підвищує густину дислокацій. Якщо ж мартенситне перетворення відбувається в процесі деформаційного наклепу аустеніту, то при загальному

збільшенні густини дислокацій відбувається їх нерівномірний розподіл. Наслідком цього є анізотропія міцності та пластичних властивостей, але особливо границі пружності. Сталі з мартенситною структурою набувають максимального опору малим пластичним деформаціям після відпустку, в процесі якого відбувається розпад залишкового аустеніту, знімаються залишкові напруження перерозподіляються дислокації (можливо, за типом полігонізації), атоми вуглецю переміщаються до дислокацій, а також виділяються частинки (області) карбідів інших надлишкових фаз. При старінні (відпустці) мартенситно-старіючих, а також сталей перехідного класу відбувається перетворення дислокаційної структури за типом полігонізації та утворюються сегрегації та частки (або області) надлишкових фаз [7].

1.2.3 Ресоро-пружинні сталі загального призначення

До пружинних сталей загального призначення відносяться переважно вуглецеві та леговані сталі перлітного класу, причому серед останніх є також сталі мартенситного класу (таблиця 1.1) [8].

Пружинні сталі, як вуглецеві, так і леговані, характеризуються високим вмістом вуглецю (0,4-0,8%). Така концентрація забезпечує ефективніше зміцнення при деформації або мартенситному перетворенні під час загартування. Крім того, при відпуску формується більше карбідних частинок, які ефективно блокують рух дислокацій. Ключовою перевагою вуглецевої сталі є досягнення високих показників межі пружності завдяки комбінованому використанню мартенситного перетворення та холодної пластичної деформації або застосуванню цих методів окремо.

Однак вуглецеві сталі мають і певні недоліки. При високому вмісті вуглецю знижується пластичність та ударна в'язкість, що може призвести до крихкого руйнування пружин при динамічних навантаженнях. Також вони

схильні до зневуглецювання поверхневого шару при термічній обробці та мають відносно низьку корозійну стійкість. Саме тому в багатьох випадках перевага надається легованим сталям, які при аналогічному вмісті вуглецю забезпечують кращий комплекс механічних властивостей та експлуатаційних характеристик.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад основних ресорно-пружинних сталей, % мас

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni
Пружини загальних механізмів і машин					
65	0,62…0,70	0,17…0,37	0,50…0,80	≤0,25	≤0,25
60Г	0,62…0,65	0,17…0,37	0,70…1,00	≤0,25	≤0,20
70	0,67…0,75	0,17…0,37	0,50…0,80	≤0,25	≤0,25
Пружини автомашин і рухомого составу залізничного транспорту					
60С2	0,57…0,65	1,50…2,00	0,60…0,90	≤0,30	≤0,25
60С2Г	0,55…0,65	1,80…2,20	0,70…1,00	≤0,30	≤0,25
50ХГА	0,47…0,52	0,17…0,37	0,80…1,00	0,95…1,20	≤0,25
55ХГР	0,52…0,60	0,17…0,37	0,90…1,20	0,90…1,20	≤0,25
Пружини відповідального призначення					
50ХФА	0,46…0,54	0,17…0,37	0,50…0,80	0,80..1,10	≤0,25
55С2ГФ	0,52…0,60	1,50…2,00	0,95…1,25	0,30…0,70	≤0,25
60С2ХА	0,56…0,64	1,40…1,80	0,40…0,70	0,70…1,00	≤0,25
60С2Н2А	0,56…0,64	1,40…1,80	0,40…0,70	0,30	1,40…1,70

Проте вуглецева сталь володіє невисоким опором релаксації, малою корозійною стійкістю, порівняно високим негативним температурним коефіцієнтом модуля пружності, що досягає $300 \cdot 10^{-6}$°С, і непридатна для роботи при підвищених температурах (вище 100°С) , вуглецева сталь має малу прогартованість, і тому її можна використовувати лише для виготовлення

пружин малого перерізу. Леговані ресоро-пружинні сталі характеризуються більш високою стійкістю релаксації, ніж вуглецеві, і, крім того, дозволяють отримати високі властивості міцності (у тому числі границя пружності) в поєднанні з підвищеною в'язкістю і притому в виробах великого перерізу. Можливість гарту пружних елементів з деяких легованих сталей на повітрі також дає можливість звести до мінімуму зональні напруження, що підвищує стабільність характеристик виробів у часі [7,8].

Залежно від прийнятого методу зміцнення, а також конфігурації пружин використовують пружинну сталь, що знаходиться в різному вихідному стані: 1) холоднодеформований, попередньо термічно оброблений, зазвичай патентований дріт або стрічку; 2) термічно оброблену на заданий рівень міцності стрічку або дріт; 3) холоднодеформований відпалений дріт або стрічку; 4) гарячекатаний або холоднокатаний сортовий прокат.

Напівфабрикати із сталі в перших двох станах мають вискоку міцність і пружні елементи із них піддають тільки низькому і середньому відпуску. Перевагою цих напівфабрикатів, крім високої точності розмірів, високих значень межі пружності та можливості отримання точно заданої конфігурації виробів, є майже повна відсутність поверхневого зневуглецювання і окислення, які різко знижують втомну міцність пружин.

Проте із цих матеріалів в наслідок їх невисокої пластичності не можливо виготовити пружини складної конфігурації. Крім того, пружина холоднодеформований дріт у стані високої міцності може мати поверхневі дефекти, що виникають при останніх проходах в процесі волочіння, які знижають в’язкість і границю витривалості. При навиванні пружин із цих напівфабрикатів можуть утворюватися додаткові дефекти поверхні. Такими дефектами, но в процесі виготовлення холодною пластичною деформацією зазвичай із невисоким стисненням після попереднього відпалу. Вказані напівфабрикати в деформованому стані або після відпалу не характеризуються високою міцність, но мають підвищену пластичність. Зміцнення пружин досягається в результаті гартування та відпуску [9].

1.3 Термічна обробка пружин

Термічна обробка є ключовим фактором, що визначає характеристики металу та експлуатаційну якість пружин. При виборі методу та параметрів термічної обробки враховують марку сталі, форму заготовки, габарити пружини та специфіку її майбутнього застосування. Для високовуглецевих і легованих сталей застосовують комбінацію гартування та відпуску, тоді як пружини з патентованого дроту потребують лише відпуску. Процес патентування, який зазвичай виконується виробником дроту, включає нагрівання сталі вище температури фазових перетворень з наступним охолодженням у розплаві свинцю, солі або на повітрі. Така обробка покращує здатність металу до холодної пластичної деформації та оптимізує його фізико-механічні властивості [10].

Температура нагрівання під гартування і температура відпустку деяких сталей наведено у таблиці 1.2. У цій таблиці наведено також дані щодо твердості готових пружин після термічної обробки [11].

Для досягнення оптимальних механічних властивостей важливо дотримуватися точних температурних режимів та часу витримки при кожному етапі термічної обробки. Гартування зазвичай проводиться при температурах 830-870°C з наступним швидким охолодженням у маслі або воді, залежно від марки сталі. Відпуск виконується при температурах 350-450°C для забезпечення необхідного співвідношення міцності та пластичності. При патентуванні температура нагріву становить 850-900°C, а температура свинцевої ванни підтримується в межах 450-550°C для отримання оптимальної структури металу.

Важливим аспектом термічної обробки є контроль за рівномірністю нагріву та охолодження для запобігання утворення внутрішніх напружень та деформацій. Особливу увагу приділяють захисту поверхні металу від окислення та зневуглецювання під час високотемпературної обробки. Для

цього використовують захисні атмосфери або спеціальні покриття. Після термічної обробки обов'язково проводиться контроль якості, який включає перевірку твердості, мікроструктури та механічних властивостей матеріалу.

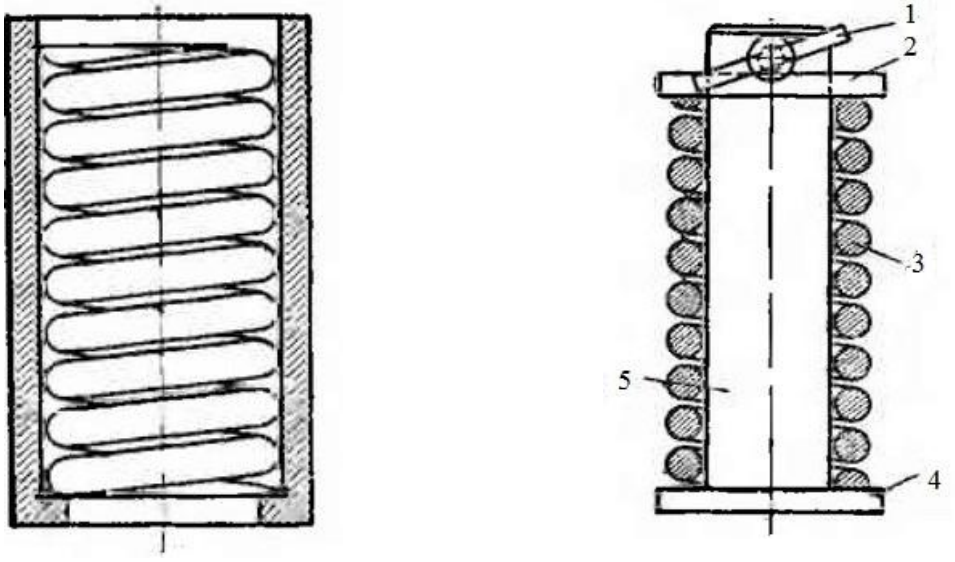
Таблиця 1.2 – Типові режими термічної обробки серійних ресоро-пружинних сталей

Марка сталі	Навивання пружин	Відпал перед волоченням, °С	Гаряче навивання пружин °С	Гартування °С	Відпуск	НВ
50ХФА	Навивання з дроту діаметром 4 мм			850-870	350-420	500
60С2	Навивання холодне	—	—	—	370-400	444
	Гаряче	730-850	850-950	850-870	430-460	387- 477
50С2, 55С2 60С2Н2А	Гаряче навивання	850	850-900	830-860	420-450	340-444
	Гаряча навивка (високо напружені пружини відповідального призначення)	730	850-900	850-870	380-420	417-477
60С2ХФА 60С2ВА	Гаряче навивання (високо-напружені пружини відповідального призначення)	860	850-900	850-860	410-420	415-477
60С2	Гаряче навивання	750	800-900	860-870	350-250	HRC 45-48

При чіткому виконанні технології термічної обробки та високої кваліфікації терміста гарантується висока якість та надійна робота пружин.

Пружинні сталі мають низьку теплопровідність. У зв'язку з цим необхідно враховувати деякі особливості нагрівання під загартування деяких марок легованих пружинних сталей. Наприклад, високомарганцеві сталі перед нагріванням під гартування попередньо підігрівають до температури 400…500°С. Отже, нагрівання таких деталей під гартування проводиться сходинково. Завдяки цьому небезпека утворення тріщин при нагріванні до температури загартування зменшується.

Загартування роблять наступним чином. Партію пружин укладають і закріплюють на дні сітчастого металевого кошика, попередньо підігрівають пружини, якщо цього вимагає технологія обробки сталі, потім поміщають у піч, нагріту до заданої температури і витримують 1при цій температурі до повного прогріву металу по всьому перерізу.



а б

а - з посадкою пружини в склянку, б - з посадкою пружини на оправлення;
1 - обмежувач, 2 - знімний верхній опорний майданчик, 3 - пружина, 4 - нижній опорний майданчик, 5 - оправлення

Рисунок 1.4 – Пристрій для гартування пружин

Час витримки визначається перерізом дроту та складом сталі, після чого виконується гартування в спеціальному середовищі. Пружини стиску перед термообробкою фіксують, з'єднуючи торцеві та робочі витки м'яким сталевим дротом. Для збереження форми та запобігання деформації використовують спеціальні пристосування (рисунок 1.4) або прості швелерні балки. При термообробці великогабаритних пружин використовують чавунні обойми - бруси з висвердленими отворами та уступами для розміщення пружин. Заповнену пружинами обойму поміщають у піч для нагрівання, а потім обережно занурюють разом з пружинами у гартівне середовище.

Для гартування пружинних сталей використовують різні середовища: масло, воду, повітря. Гартівна рідина знаходиться в спеціальному баку з системою охолодження для контролю температури. Водяне гартування, через надто інтенсивне охолодження що може спричинити утворення тріщин, застосовують рідко. При необхідності використання води в неї додають спеціальні домішки (вапно, мило, крейду) для зниження швидкості охолодження.

Температура гартівного середовища суттєво впливає на кінцеві властивості та структуру сталі. Наприклад, гартування в маслі при 60°С не забезпечує повного загартування, тоді як при 30°С досягається необхідна твердість. Масло є найпоширенішим гартівним середовищем, оскільки забезпечує високу якість пружин з мінімальним браком при термообробці.

Через різну теплопровідність гартівних середовищ найбільш нагріті шари концентруються у верхній частині бака. Для забезпечення рівномірності температури по всьому об'єму застосовують продування стисненим повітрям через спеціальні трубки або інші методи перемішування та охолодження середовища.

Відпуск є необхідним етапом після гартування, що підвищує в'язкість та знижує внутрішні напруження, спричинені різким охолодженням. Процес здійснюється у відпускних печах (полум'яних, муфельних, електричних) або

соляних ваннах. Режими відпуску (температура та час витримки) визначаються маркою сталі та розмірами пружини.

Для пружин з патентованого дроту відпуск проводять при 250-350°С з витримкою 15-30 хвилин. Без відпуску такі пружини при багаторазовому стисканні до зіткнення витків втрачають висоту, осідають та збільшуються в діаметрі. Відпуск знижує величину осадки майже вдвічі та покращує пружні властивості. При цьому спостерігається незначне зменшення зовнішнього діаметру та збільшення кількості витків на 1-2%. Ці зміни розмірів необхідно враховувати при налаштуванні автоматів навивання та виборі технологічного оснащення.

Термічна обробка загалом забезпечує високу якість та надійність пружин завдяки зниженню залишкових деформацій, покращенню пружних властивостей та підвищенню в'язкості матеріалу.

Особлива увага приділяється контролю температурних режимів та рівномірності нагріву під час відпуску, оскільки це безпосередньо впливає на експлуатаційні характеристики готових виробів. Для забезпечення стабільності процесу використовують сучасні системи автоматичного регулювання температури та часу витримки. Після термообробки обов'язково проводиться контроль якості, який включає перевірку геометричних параметрів, механічних властивостей та структури матеріалу.

1.4 Структура і властивості пружинних сталей

Загартовані деталі з ресоропружинної сталі відрізняються не лише підвищеним вмістом вуглецю в твердому розчині, але й високою концентрацією дислокацій або внутрішніх двійників та дрібнозернистою структурою. Дрібнозернистість структури забезпечує вищий опір мікропластичним деформаціям та зменшує локальні концентрації напружень у зонах контакту кристалів мартенситу з межами початкового аустенітного зерна при подальшому навантаженні.

Хоча остаточний злам проходить через зерно, початкове поширення тріщини відбувається по межах колишніх аустенітних зерен. Дрібнозерниста структура зменшує схильність сталі до крихкого руйнування, особливо у високоміцному стані, та знижує температуру переходу від в'язкого до крихкого стану. Для підвищення опору крихкому руйнуванню важливо також знизити рівень внутрішніх напружень, оскільки вони знижують границю пружності та можуть спричинити нестабільну роботу пружин через їх релаксацію під час експлуатації [12].

Важливо мінімізувати вміст залишкового аустеніту в сталі після термообробки, оскільки він має нижчу межу пружності порівняно з мартенситом, особливо після старіння. Наявність залишкового аустеніту знижує загальний опір матеріалу до малих та помірних пластичних деформацій.

Більше того, здатність залишкового аустеніту перетворюватись на мартенсит при навантаженні або низькотемпературному охолодженні призводить до зниження релаксаційної стійкості сталі та підвищує схильність до руйнування. Це може спричинити передчасний вихід з ладу пружин навіть при статичних навантаженнях. Для мінімізації вмісту залишкового аустеніту застосовують комплекс заходів при термообробці, включаючи оптимізацію режимів гартування, параметрів нагрівання та охолодження [13].

Під час відпуску залишковий аустеніт може зазнавати перетворень, що підвищує границю пружності, хоча продукти цього перетворення мають нижчий опір малим пластичним деформаціям порівняно з продуктами мартенситного перетворення. Сталь з повністю мартенситною структурою, отриманою після обробки холодом, демонструє швидше зростання границі пружності при відпуску, ніж сталь з більшим вмістом залишкового аустеніту.

Цікаво, що після відпуску, який спричиняє повний розпад залишкового аустеніту, кінцеві значення границі пружності практично однакові як для сталі з вихідною структурою мартенситу та залишкового аустеніту, так і для сталі з початковою мартенситною структурою. Це спостереження суперечить деяким дослідженням та практичним результатам.

Фінальні властивості пружин визначаються режимами відпуску, під час якого реалізується потенціал підвищення опору малим пластичним деформаціям та комплексу міцнісних характеристик, закладений при гартуванні. Найбільший вплив на процеси відпуску та кінцеві властивості мають вміст вуглецю в мартенситі та його субструктура (розподіл та густина дислокацій, наявність мікродвійників), причому субструктурні фактори мають дещо менший вплив [12].

Найвищий опір мікро- та малим пластичним деформаціям загартованих сталей досягається після відпуску при 200-400°С. При цьому в структурі формуються дрібнодисперсні карбідні частинки, когерентно зв'язані з матрицею мартенситу, які розташовуються як в об'ємі кристалів, так і на межах двійників.

Покращення властивостей при відпуску також може бути пов'язане зі збільшенням густини дислокацій та їх перерозподілом. Деякі дослідники пов'язують підвищення границі пружності з релаксацією залишкових напружень, що виникли при гартуванні.

Спостерігається подібність у змінах дислокаційної структури під час відпуску як загартованої на мартенсит сталі, так і пластично деформованої. Для досягнення високої границі пружності після відпуску необхідна висока

початкова густина дислокацій, отримана або мартенситним перетворенням, або деформаційним наклепом.

Відпуск викликає зміни вихідної дислокаційної структури в обох випадках через утворення сегрегацій та виділення карбідних частинок (особливо з мартенситу). Ці частинки закріплюють дислокації та стабілізують субструктуру. Тому границя пружності після відпуску прямо залежить від ступеня попередньої пластичної деформації або концентрації вуглецю в мартенситі [13].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖНЬ

2.1 Хімічний склад матеріалів для виготовлення пружин залізничного транспорту

Для виготовлення ресор та пружин необхідно використовувати матеріали, які характеризуються високими показниками статичної, динамічної та ударної міцності, а також мають належну пластичність та зберігають пружні властивості впродовж усього експлуатаційного періоду. У представленому дослідженні розглядаються сталі марок 60С2А та 60С2ХА, які використовуються у виробництві пружин для залізничних вагонів відповідно до вимог ГОСТ 1452-2011. Хімічні компоненти досліджуваних сталей представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад пружинних сталей, %мас

Сталь	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
60С2А	0.58-0,63	1,6-2,0	0,6-0,9	≤0,3	≤0.025	≤0.025	0.25	≤0.2
60С2ХА	0.56-0.64	1.4-1.8	0.4-0.7	0.7-1.0	≤0.025	≤0.025	0.25	≤0.2

Матеріал для пружин поставляється у вигляді гарячекатаного круглого прокату на підприємстві Крюківський вагонобудівний завод.

2.2 Дослідження мікроструктури зразків

2.2.1 Приготування зразків для досліджень

Дослідження мікроструктури сталей проводили за допомогою методів оптичної та електронної мікроскопії.

Підготовка металографічних шліфів включає декілька послідовних етапів: відбір та підготовка зразка, шліфувальні роботи, полірування та травлення поверхні.

Процес шліфування розпочинають з використання крупнозернистого абразивного паперу (№ 60), поступово переходячи до паперу з меншою зернистістю, завершуючи обробку на папері № 220...280. Під час шліфування зразок легко притискають до обертового диску. При зміні абразивного паперу на більш дрібний, зразок очищують від пилу та повертають на 90°, продовжуючи обробку до повного усунення слідів попереднього шліфування. Завершальним етапом є промивання зразка водою для видалення абразивних частинок перед поліруванням.

Механічне полірування здійснюють на спеціалізованому верстаті впродовж 8...10 секунд. Полірувальний диск покритий фетром, змоченим розчином води та оксиду алюмінію ($H_2O + Al_2O_3$). Для подальшого металографічного аналізу зразки піддають травленню одним із реактивів:

- 5 г FeCl + 5 мл HCl + 100 мл H2O
- 92 мл HCl + 5 мл H_2SO_4 + 3 мл HNO_3 + 5 г $CuSO_4$ + 50 мл C_2H_5OH

Після травлення шліф промивають водою, витирають та висушують фільтрувальним папером.

Для проведення вимірювань твердості та мікротвердості використовують полірovані зразки розміром 20×20 мм.

2.2.1 Дослідження мікроструктури МИМ-8

Конструкція мікроскопа МІМ-8 складається з трьох основних частин: освітлювального блоку, корпусу та верхнього модуля (рисунок 2.1).

Освітлювальний блок включає ліхтар 1, у кожусі якого розміщена лампа, та центрувальні гвинти 2, які забезпечують регулювання положення нитки лампи відносно оптичної осі колектора.

У корпусі мікроскопа розташована апертурна діафрагма, закріплена під оправою освітлювальної лупи 3, а також фотографічна система, яка дозволяє фіксувати мікроструктуру на фотопластинку, що встановлюється у посадковий пристрій 4. Верхній модуль мікроскопа містить ілюмінаторний тубус 5 для розміщення об'єкта у верхній частині та візуальний тубус 7 з отвором для встановлення окуляра 8.

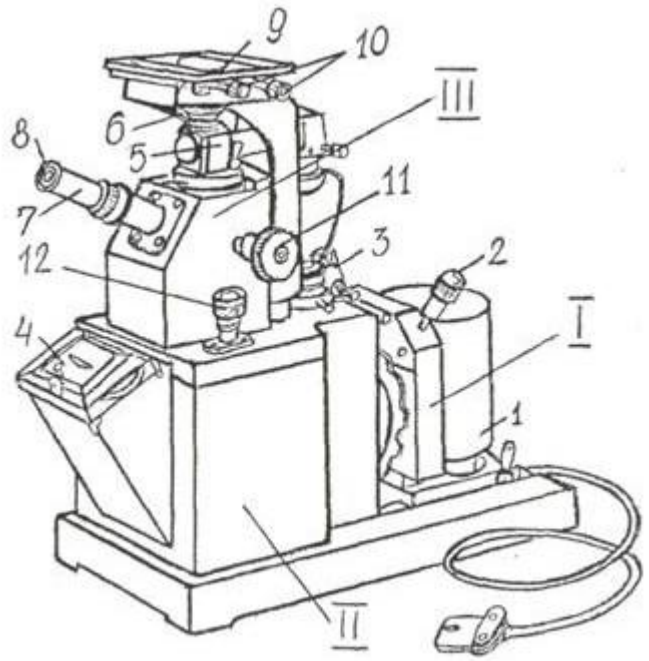


Рисунок 2.1 – Металографічний мікроскоп МИМ -8

Предметний столик 9 мікроскопа обладнаний системою гвинтів 10, що забезпечують його переміщення у двох перпендикулярних напрямках. Центральна частина столика має спеціальний отвір для спостереження за мікрошліфом. За допомогою макрометричного гвинта 11 здійснюється вертикальне переміщення предметного столика 9, що дозволяє виконувати грубе фокусування. Для запобігання самовільного опускання столика передбачено фіксуючий гвинт, розташований у лівій верхній частині

мікроскопа. Точне фокусування забезпечується мікрометричним гвинтом 12, який відповідає за вертикальне переміщення об'єктива.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРУЖИН

У системі залізничного транспорту пружинні елементи відіграють ключову роль у конструкції ходової частини вагонів. Колісні пари з'єднуються з рамою візка та корпусом вагона через комплекс пружних елементів та демпферів, що формують ресорну підвіску. Основне призначення такої підвіски - амортизація ударів та вібрацій, що виникають під час руху та передаються від коліс до кузова. У певних конструкціях пружинні елементи також забезпечують передачу направляючих зусиль від коліс до рами візка. При проходженні колісною парою різноманітних нерівностей колії (стиків, хрестовин тощо) виникають динамічні та ударні навантаження. Додаткові динамічні навантаження можуть з'являтися через дефекти самих колісних пар: пошкодження поверхні, неточності при монтажі коліс на вісь або дисбаланс колісної пари. За відсутності ресорного підвішування всі ці навантаження безпосередньо передавалися б на кузов вагона. Для забезпечення надійної роботи ресор та пружин використовуваний матеріал повинен мати високу статичну, динамічну та ударну міцність, достатню пластичність та зберігати свої пружні властивості протягом всього терміну експлуатації. Ці експлуатаційні характеристики визначаються хімічним складом матеріалу, його мікроструктурою, режимами термічної обробки та якістю обробки поверхні пружних елементів.

3.1 Вплив легувальних елементів на властивості пружин

Сталі 60С2А та 60С2ХА (табл. 2.1) широко застосовуються завдяки їх оптимальному поєднанню технологічних та механічних властивостей,

доступності та економічної ефективності порівняно зі звичайними вуглецевими сталями. Однак присутність кремнію в цих сталях призводить до підвищеної схильності до зневуглецювання, що негативно впливає на поверхневу твердість, зносостійкість та втомну міцність.

Оптимальні пружні властивості досягаються після гартування з наступним середнім відпуском при 350-500°C, коли мартенсит трансформується в троостит (суміш фериту і цементиту), що забезпечує високу пружність, в'язкість та твердість. Для формування рівномірної трооститної структури необхідна наскрізна прогартованість сталі.

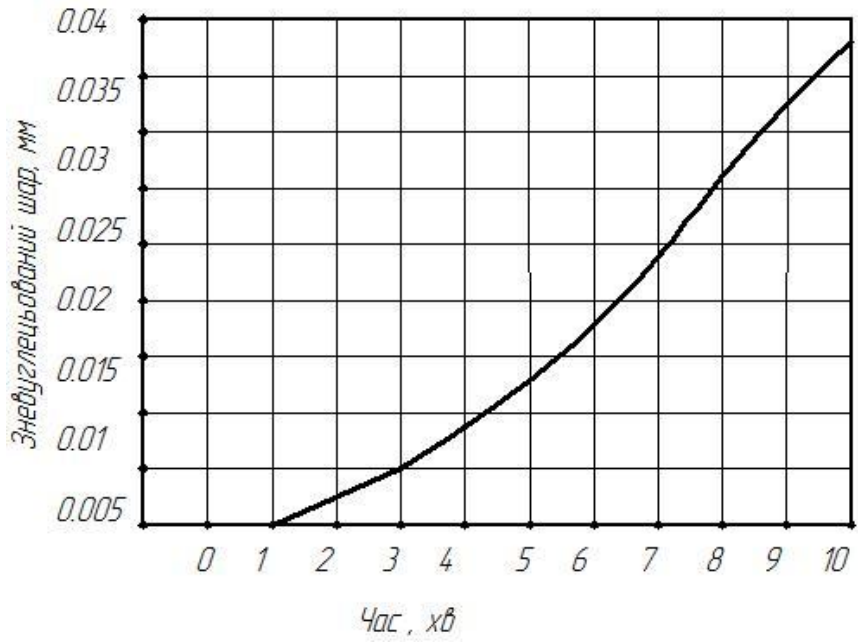
Легувальні елементи впливають на інтенсивність зневуглецювання через їх вплив на дифузію вуглецю, температуру α→γ перетворення та активність вуглецю. Підвищення цих параметрів збільшує ймовірність зневуглецювання поверхні.

Енергія активації дифузії визначає рухливість атомів у кристалічній ґратці. Елементи, що розчиняються за механізмом впровадження, мають нижчу енергію активації порівняно з елементами заміщення, тому останні дифундують повільніше. Енергія активації дифузії вуглецю в аустеніті (≈31000 кал/г·атом) значно нижча, ніж у легувальних елементів (>60000 кал/г·атом).

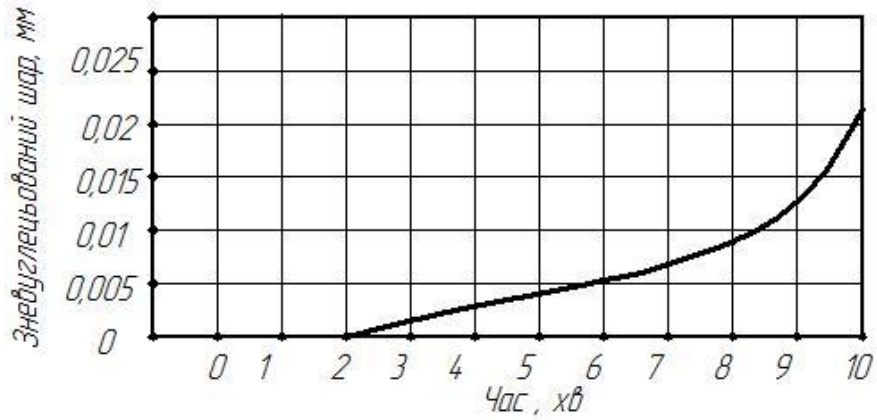
Хром, молібден та ванадій сповільнюють дифузію вуглецю в аустеніті. Окалиноутворення також впливає на глибину зневуглецювання - чим інтенсивніше формування окалини, тим менша глибина зневуглецьованого шару.

Хром знижує швидкість окалиноутворення та підвищує температуру α→γ перетворення, але одночасно сповільнює дифузію вуглецю та знижує його активність, що в цілому зменшує схильність до зневуглецювання.

Кремній, формуючи шари Fe_2SiO_4, зменшує швидкість окалиноутворення, але підвищує активність вуглецю та температуру α→γ перетворення. Незважаючи на певне сповільнення дифузії вуглецю, кремній загалом підвищує схильність до зневуглецювання.



а



б

а) – сталь 60С2А ; б) – сталь 60С2ХА

Рисунок 3.1 – Залежність впливу часу витримки при гартуванні на глибину зневуглецьованого шару

Марганець має незначний вплив на зневуглецювання та дифузію вуглецю. Зниження активності вуглецю та температури α→γ перетворення дещо зменшують схильність до зневуглецювання.

Нікель підвищує активність та швидкість дифузії вуглецю в аустеніті, мало впливає на окалиноутворення, але сприяє формуванню міцних металевих

проміжних шарів. Зниження температури α→γ перетворення зазвичай зменшує схильність до зневуглецювання.

Ванадій та вольфрам посилюють дію інших легувальних елементів. Ванадій, як карбідоутворюючий елемент, протидіє зневуглецюванню деталей, включаючи пружини.

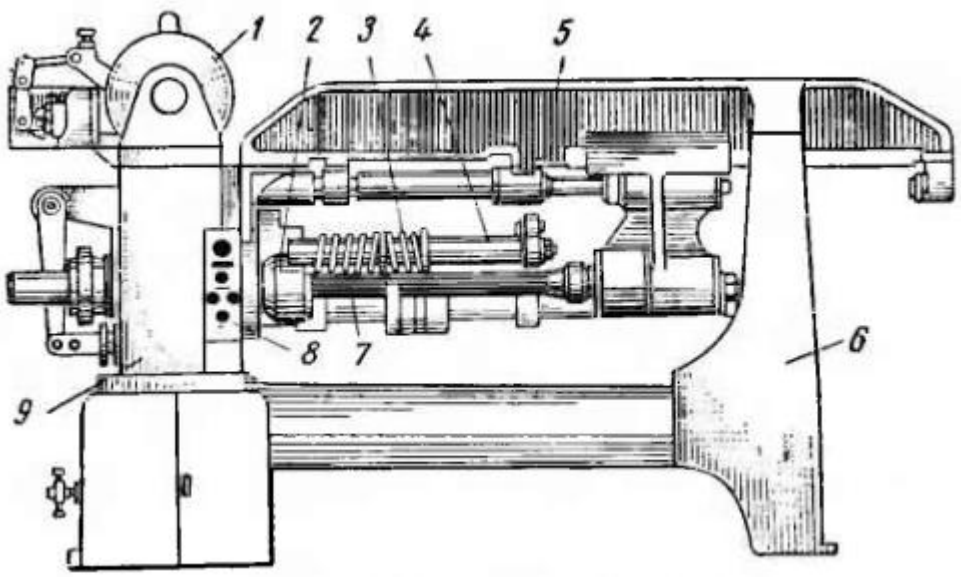
Основна відмінність між сталями 60С2А та 60С2ХА полягає у наявності хрому в останній. На рисунку 3.1 показано, як час витримки при гартуванні впливає на величину зневуглецьованого шару. Збільшення температури та тривалості витримки призводить до глибшого зневуглецювання.

Як видно з наведених графіків в сталі із вмістом хрому величина зневуглецьованого шару майже в половину менше, ніж в сталі 60С2А. Окрім зазначеного впливу хрому можна добавити, що хром в окисних атмосферах нагрівання може утворювати захисні плівки, що в свою чергу також гальмує процес зневуглецювання.

3.2 Технологія виготовлення та термічна обробка пружин

В конструкції залізничного транспорту застосовуються циліндричні гвинтові пружини, що працюють на стиск або розтяг. Виробничий процес виготовлення таких пружин включає вхідний контроль якості сталі, підготовку прутків необхідної довжини, обробку кінців заготовки, термічну підготовку та навивання, термообробку, зміцнення поверхні, усунення залишкових деформацій шляхом стискання, обробку торцевих поверхонь, випробування, контроль якості, нанесення захисного покриття та сушіння. Вихідна заготовка повинна мати оброблену (точінням або шліфуванням) поверхню з шорсткістю Rz не більше 20 мкм. Розділення заготовок здійснюється на прес-ножицях або ексцентрикових пресах у холодному стані або при нагріві до 750-900°С. Технологія передбачає попереднє нагрівання

кінців заготовок у щілинних печах до 900-950°С протягом 8-15 хвилин, залежно від діаметра прутка. Температура наприкінці відтяжки, яка виконується на обтискних вальцях, повинна бути не менше 800°С, хоча фактично перевищує 900°С. На гарячу бічну поверхню відтягнутого кінця наноситься маркування, що включає порядковий номер виробника, дату виготовлення (рік та місяць) та марку використаної сталі. Навивання здійснюється на спеціалізованому обладнанні (рис. 3.2) після нагріву заготовки до 900-950°С у напівметодичній печі протягом 20-30 хвилин, з подальшим гартуванням. Завершальні операції включають калібрування кроку витків на пресі, підтискання кінців, контроль висоти пружини та перевірку перпендикулярності відносно опорної поверхні за допомогою косинця.



1 – електродвигун; 2 – шпиндель; 3 – копір; 4 – привод копіра; 5 – траверса; 6 – задня стойка; 7 – гладка відправка; 8 – панель кнопок управління; 9 – передня стойка;

Рисунок 3.2 – Верстат для гарячого навивання пружин

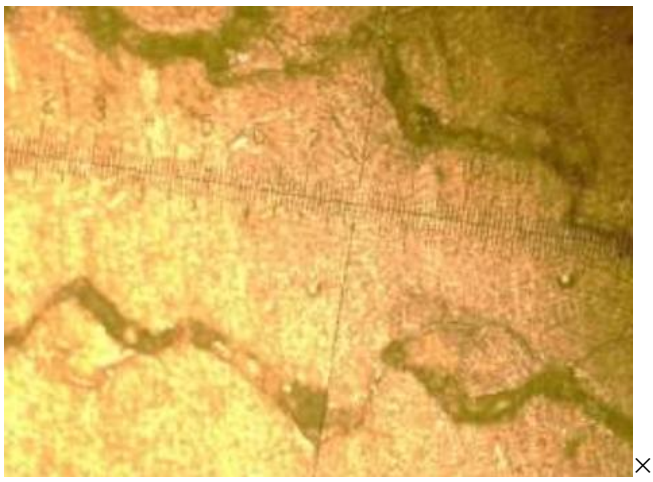
Необхідний рівень твердості пружин (375-444 НВ або 41,4-46,0 HRC) досягається шляхом гартування та подальшого відпуску. Проте навіть при суворому дотриманні технологічних вимог спостерігається утворення тріщин на поверхні вальців як під час вальцювання, так і при поєднанні операцій навивання з гартуванням.

При вальцюванні торців тріщиноутворення відбувається внаслідок перегріву в печі. При цьому критично важливо нагрівати пруток на відстані 350 мм від торця, оскільки при вальцюванні виникає температурний градієнт: поверхневі шари торця охолоджуються і стискаються, тоді як внутрішні шари нагріваються та розширюються. Це створює розтягувальні напруження в поверхневих шарах, що підтверджується появою тріщин на відстані 100-150 мм від торця.

В результаті технологічного процесу кінцеві частини заготовки (опорні витки пружини) піддаються подвійному нагріванню (перегріву), в той час як циліндрична частина (робочі витки) нагрівається одноразово. Це призводить до неоднорідності структури металу в перехідній зоні. Як наслідок, при експлуатації великі та малі пружини ресорного комплекту характерно руйнуються в опорному витку саме в перехідній зоні між плоскою поверхнею та робочим витком.

Формуванню гартівних тріщин також сприяють дефекти вальцювання - закати, зневуглецювання та подальше розгалуження тріщин при гартуванні (рисунок 3.3).

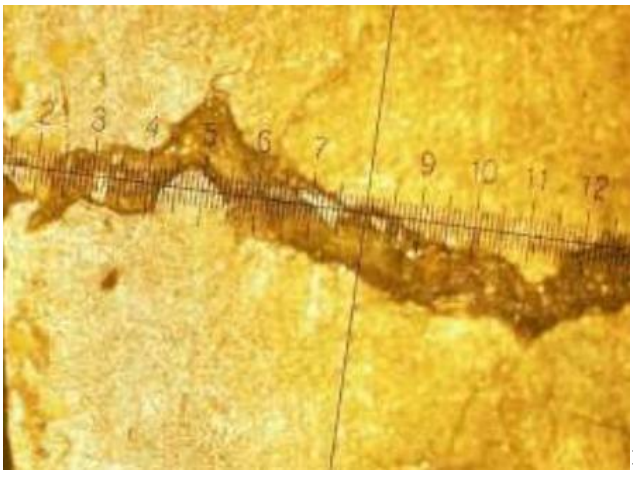
Виявлені проблеми тріщиноутворення вказують на необхідність вдосконалення технологічного процесу виготовлення пружин, зокрема оптимізації режимів нагріву та охолодження, а також контролю якості на всіх етапах виробництва. Особливу увагу слід приділити рівномірності нагріву заготовки та запобіганню утворення різких температурних градієнтів, які призводять до виникнення внутрішніх напружень та подальшого руйнування виробів.



×100

Рисунок 3.3 – Розгалуження тріщини від вальцювання

При гартуванні пружин фактична температура охолодження відхиляється від рекомендованого діапазону 830-870°С. Технологічний процес передбачає, що після нагрівальної печі пружини по похилій площині потрапляють на конвеєр, звідки надходять у гартівну ванну. Охолодження відбувається у воді, температура якої підтримується в межах 30-40°С.



×100

Рисунок 3.4 – Розкриття тріщини після гартування

Нагрівання прутка для навивання здійснюється до температур 930-950°С, що є припустимим за умови короткочасної витримки. Однак відсутність етапу підстуджування до 870°С та нерівномірність температури вздовж прутка призводять до формування тріщин напруження під час мартенситного перетворення (рисунок 3.4).

Після гартування спостерігається неоднорідність твердості: на початковому витку вона знижена (HRC 30-40), тоді як на кінцевому - підвищена (до 60 HRC).

Для оптимізації механічних характеристик та зняття внутрішніх напружень пружини після гартування піддають відпусканню в двозонних конвеєрних печах. Часовий інтервал між гартуванням та відпуском не повинен перевищувати 4 години. Хоча рекомендована температура відпускання становить 480-520°C, фактична температура в печі досягає 550°C. Нерівномірність нагріву при гартуванні та завищена температура відпускання призводять до появи м'якої (≤40 HRC) та твердої (≈50 HRC) зон пружини, що є неприпустимим. Залишкову деформацію усувають одноразовим стиском до зіткнення витків з витримкою 5-8 секунд.

При аналізі властивостей кремнистих пружинних сталей важливо враховувати їх металургійні та технологічні особливості. При прокатці профілів через ліквацію кремнію формується виражена "смугастість", а після охолодження у структурі з'являється феритна "смугастість". Навіть якщо вона відсутня у прокаті, то виникає знову при нагріванні до температури гартування, досягаючи 4-5 балів у середині профілю. Значна зональна ліквація вуглецю та дендритна ліквація кремнію вимагають різних температур аустенізації для виробів з різних частин прокатного зливка. Збагачені кремнієм ділянки аустеніту навуглецьовуються дуже повільно, і вирівнювання концентрації вуглецю може не відбутися. Тому при виборі режиму гартування необхідно забезпечити формування однорідного аустеніту, незважаючи на початкову хімічну неоднорідність сталі.

Додатково виявлено значну структурну смугастість - наявність світліших смуг, збагачених марганцем, та темніших, збагачених кремнієм, що є наслідком дендритної ліквації.

Оптимальна температура гартування пружин для формування дрібнокристалічного мартенситу становить 850-870°C з подальшим охолодженням у маслі або воді. Гартування забезпечує максимальну твердість,

а наступне відпускання при 400-470°С дозволяє досягти збалансованого співвідношення міцності та пластичності.

При температурі відпуску 400-450°С досягаються найкращі показники границі пружності, підвищена пластичність та в'язкість.

Охолодження пружних елементів після відпускання рекомендується проводити у воді з двох причин: формування залишкових напружень стиснення в поверхневому шарі та запобігання оборотній відпускній крихкості при швидкому охолодженні від температури 500-540°С. Відпускна крихкість негативно впливає на експлуатаційні характеристики, підвищуючи поріг холодноламкості та сприяючи утворенню й поширенню втомних тріщин.

Після термічної обробки (гартування та відпускання при 250-500°С) у структурі сталі одночасно присутні карбідні фази: ε, χ, Fe3C. Максимальний вміст ε-карбіду спостерігається при 350°С, χ-карбіду – при 400°С. При вищих температурах відпускання переважає цементит (Fe3C). Кремній підвищує стійкість ε-карбіду та стабілізує структуру мартенситу й залишкового аустеніту.

Поєднання навивання та гартування з одного нагріву при контрольованих умовах деформації та охолодження фактично є термомеханічною обробкою. При цьому структурні зміни аустеніту передаються мартенситу і зберігаються після відпускання. Підвищена температура нагрівання кремнієвмісної сталі при гартуванні важлива не лише для деформування переохолодженого аустеніту, але й для покращення втомної міцності. Наприклад, для сталі 60С2А границя витривалості після гартування з 870°С та відпускання при 480°С (твердість 40-42 HRC) становить 343 МН/м², тоді як після гартування з 960-980°С та відпускання при 480°С досягає 392 МН/м². Аналогічно, максимальна втомна міцність сталі 60С2ХА також досягається після високотемпературного нагріву під гартування.

Результати сертифікаційних випробувань виявили відхилення від нормативних вимог. При тестуванні прогину пружин S1 під розрахунковим статичним навантаженням фактичне значення склало +5,3, що перевищує

допустимий діапазон від -3,4 до +4,8, встановлений нормативною документацією. Підвищена залишкова деформація є наслідком недостатньої прогартованості сталі 60С2А у перерізі 30 мм. Крім того, пружини серійного виробництва продемонстрували знижену циклічну довговічність - 0,4·106 циклів навантажень замість необхідних 0,5·106 (рисунок 3.5).

Рисунок 3.5 – Втомний злам витків пружини

У пружинах діаметром 30 мм виявлено підвищену твердість - HRC 47 при нормі 46,5 HRC, що свідчить про перегрів при гартуванні. Це призвело до збільшення кількості залишкового аустеніту, відхилення прогину S1 та зниження втомної міцності через укрупнення зерна. Важливо зазначити, що після термообробки пружинна сталь повинна містити мінімальну кількість залишкового аустеніту, оскільки він має нижчу границю пружності порівняно з мартенситом, що знижує опір малим пластичним деформаціям.

Наявність залишкового аустеніту створює ризик його перетворення на мартенсит під навантаженням, особливо при низьких температурах. Це призводить до зниження релаксаційної стійкості та появи схильності до уповільненого руйнування, результатом чого є передчасний вихід пружин з ладу при статичному навантаженні. Для мінімізації вмісту залишкового аустеніту застосовують різні методи термічної обробки, зокрема оптимізацію

температури та швидкості нагрівання й охолодження при гартуванні. Хоча під час відпуску залишковий аустеніт може трансформуватися, що підвищує межу пружності, продукти цього перетворення мають нижчий опір малим пластичним деформаціям порівняно з продуктами перетворення мартенситу.

Для забезпечення надійної експлуатації пружин при тривалих статичних і динамічних навантаженнях, особливо за наявності концентраторів напружень, режим відпуску повинен забезпечувати не лише високу границю пружності, але й належний рівень пластичності та в'язкості при підвищеному опорі крихкому руйнуванню. Тому важливо чітко контролювати як температуру, так і тривалість відпуску.

Для високоміцної сталі 60С2ХФА оптимальним режимом термічної обробки є ізотермічне гартування на нижній бейніт з наступним відпуском: нагрів до 880-900°С, ізотермічна витримка пружин (діаметр прутка до 40 мм) при 290-330°С протягом 45-60 хвилин та відпуск при 300-325°С протягом 1 години. Вплив температури відпуску на властивості сталі показано на рисунку 3.6.

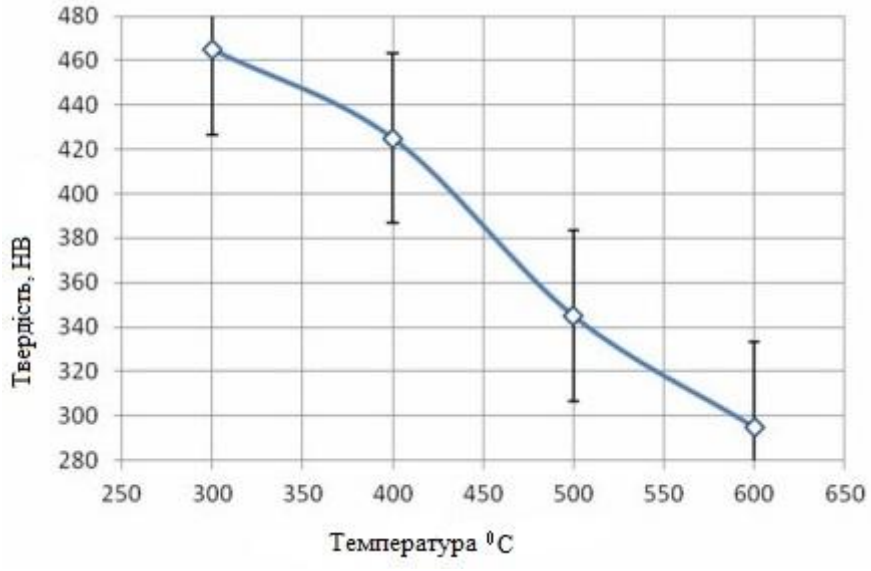


Рисунок 3.6 – Залежність твердості від температури відпускання

Після проведення даного режиму термічної обробки сталь досягає твердості в діапазоні HRC 45-51. Температурно-часові параметри процесу

термообробки представлені на рисунку 3.6, а отримана мікроструктура матеріалу відображена на рисунку 3.7.

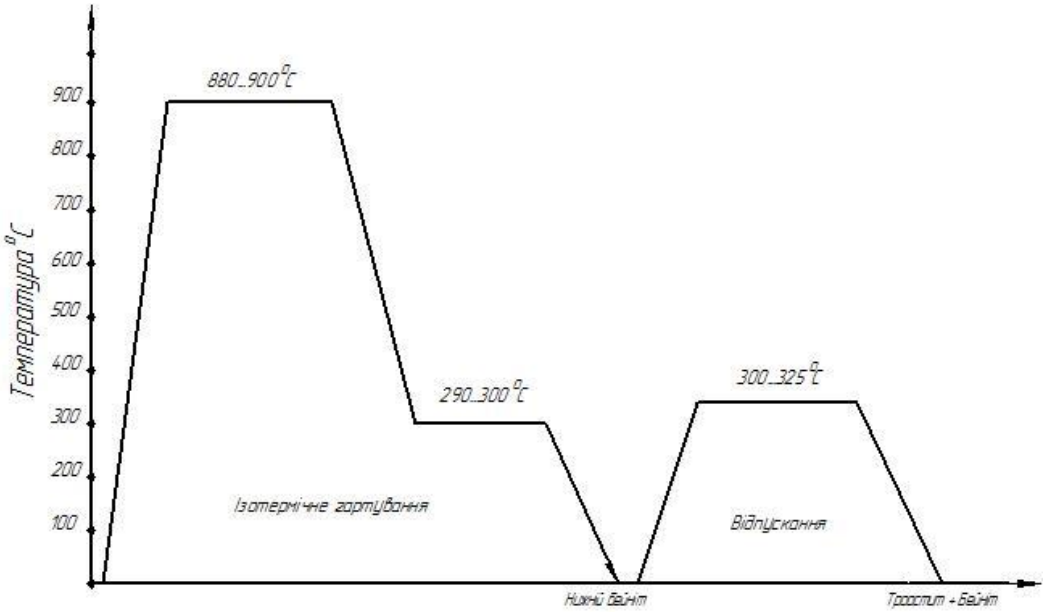


Рисунок 3.7 – Режим термічної обробки пружин зі сталі 60С2ХФА

При ізотермічному гартуванні бейнітне перетворення проходить в температурному інтервалі, де дифузія атомів заліза значно загальмована, проте дифузія атомів вуглецю залишається відносно активною. Швидкість охолодження при цьому займає проміжне положення - вона перевищує швидкість утворення троосту, але не досягає значень, необхідних для формування мартенситу. Такий процес поєднує характерні риси як перлітного, так і мартенситного перетворень.

×300

Рисунок 3.8 – Мікроструктура сталі 60С2ХФА після термічної обробки

Мікроструктура після відпускання складається з нижнього бейніту з частковим вмістом троосту. Для підвищення експлуатаційних характеристик та оптимізації структури пружин залізничного транспорту зі сталі 60С2ХФА рекомендується застосовувати комбіновану термічну обробку, що включає ізотермічне гартування після гарячого навивання з подальшим середньотемпературним відпусканням.

4 ЕКОНОМІКО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

4.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

На сучасному етапі розвитку машинобудівної галузі існує стійкий попит на пружини з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Проведені маркетингові дослідження показують, що основними споживачами пружин є підприємства автомобілебудування, залізничного транспорту, верстатобудування та аерокосмічної галузі. При цьому спостерігається тенденція до постійного підвищення вимог щодо надійності та довговічності пружних елементів.

Розроблена сталь 60С2ХА має ряд конкурентних переваг порівняно зі стандартною сталлю 60С2А. Легування хромом дозволяє суттєво підвищити механічні властивості та експлуатаційні характеристики пружин. Зокрема, забезпечується підвищена втомна міцність, покращена релаксаційна стійкість та вища зносостійкість. Це дозволяє значно збільшити ресурс роботи пружин в різних умовах експлуатації.

З економічної точки зору використання пружин з розробленої сталі дозволяє знизити експлуатаційні витрати за рахунок зменшення частоти замін пружних елементів, скорочення простоїв обладнання та збільшення міжремонтного періоду. Незважаючи на дещо вищу собівартість виготовлення, економічний ефект досягається завдяки подовженому терміну служби виробів.

Таким чином, розробка та впровадження сталі 60С2ХА для виготовлення пружин з підвищеними експлуатаційними властивостями є актуальною з маркетингової точки зору та має значний комерційний потенціал на ринку машинобудівної продукції. Це підтверджується наявністю стабільного попиту, чіткими конкурентними перевагами та економічною доцільністю використання розробленого матеріалу.

4.2 Послідовний аналіз

Аналіз напрямків застосування та вигод для споживачів демонструє значні перспективи впровадження пружин зі сталі 60С2ХА, що підтверджується перевагами для виробників у розширенні асортименту та підвищенні якості, а для споживачів - у збільшенні терміну експлуатації та зниженні витрат на обслуговування в різних галузях машинобудування (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для споживачів (користувачів)
1	2	3
Створення високоміцних пружин зі сталі 60С2ХА з підвищеними експлуатаційними характеристиками для різних галузей машинобудування	Автомобілебудування	Збільшена довговічність пружин підвіски; зменшення простоїв на ремонт; економія на заміні деталей
Залізничний транспорт	Підвищена надійність ресорного підвішування; триваліший міжремонтний період; зниження експлуатаційних витрат	Зниження витрат на технічне обслуговування

Кінець таблиці 4.1

1	2	3
Верстатобудування	Покращена точність роботи механізмів; зменшення вібрацій; стабільність характеристик протягом тривалого часу	Стабільність властивостей протягом тривалого терміну служби
Сільгоспмашинобудування	Висока стійкість до агресивних середовищ; надійність в польових умовах; тривалий термін служби в умовах інтенсивної експлуатації	Підвищена стійкість до агресивних середовищ Економія на заміні деталей

Виконаний аналіз характеристики потенційного ринку (табл. 4.2) показує наявність 5-7 головних виробників пружин зі сталі 60С2ХА. Загальний обсяг ринку складає 150-200 млн грн на рік з тенденцією до зростання. Для входу на ринок необхідно пройти сертифікацію продукції відповідно до вимог ДСТУ та ISO 9001, а також здійснити значні початкові інвестиції у виробництво. При цьому середня рентабельність у галузі становить 25-30%, що свідчить про привабливість ринку для впровадження проекту.

З огляду на зростаючий попит на високоякісні пружини в різних галузях машинобудування, особливо в автомобільній та залізничній промисловості, а також враховуючи високі показники рентабельності та помірну конкуренцію, можна зробити висновок про наявність сприятливих умов для виходу на ринок з новим продуктом. Важливими факторами успіху стануть дотримання всіх технічних вимог та стандартів якості, а також правильна цінова політика та маркетингова стратегія.

Таблиця 4.2 – Попередня характеристика потенційного ринку

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Головні конкуренти	Українські виробники пружин (ПАТ "Дніпропетровський стрілочний завод", ТОВ "Метпромсервіс"). Зарубіжні виробники (Peterson Spring, Associated Spring Raymond).
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає завдяки розвитку автомобілебудування, залізничного транспорту та машинобудування.
Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Потреба у значних інвестиціях у виробниче обладнання. Необхідність спеціалізованих технологій та кваліфікованого персоналу.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Сертифікація відповідно до ДСТУ та ISO 9001. Відповідність технічним умовам виробництва пружин. Контроль якості матеріалів та готової продукції

Виконаний аналіз потенційних споживачів дозволив виділити основні цільові групи клієнтів для пружин зі сталі 60С2ХА та визначити їхні специфічні вимоги до продукції (табл. 4.3). В ході дослідження було встановлено ключові характеристики кожного сегмента споживачів, що впливають на їхні потреби та очікування від продукту.

На основі вивчення особливостей кожної групи клієнтів сформовано чіткий перелік технічних та експлуатаційних вимог до пружин. Такий підхід дозволив визначити необхідні характеристики продукції, які забезпечать її відповідність потребам різних категорій споживачів та сприятимуть успішному позиціонуванню на ринку.

Таблиця 4.3 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
Потреба у високоякісних пружинах зі сталі 60С2ХА для різних галузей промисловості	Автомобілебудівні підприємства	Велика потреба в серійних поставках, жорсткі вимоги до якості та надійності	Відповідність міжнародним стандартам якості, стабільні технічні характеристики, довговічність
	Підприємства залізничного транспорту	Потреба у пружинах підвищеної міцності, важливість сертифікації	Висока стійкість до навантажень, відповідність галузевим стандартам, тривалий термін експлуатації
	Машинобудівні заводи	Різноманітність типорозмірів, важливість технічної підтримки	Точність розмірів, стабільність характеристик, технічна документація
	Ремонтні підприємства	Потреба в малих партіях, швидкість поставки	Доступна ціна, наявність на складі

На підставі проведеного SWOT-аналізу середовища впровадження проекту з виробництва пружин (таблиця 4.4) визначено ключові фактори впливу на його реалізацію. До сильних сторін належать наявність сучасного виробничого обладнання, досвідчений інженерно-технічний персонал, конкурентоспроможна цінова політика та налагоджені зв'язки з клієнтами. Ці переваги створюють міцну базу для успішної реалізації проекту.

Таблиця 4.4 – SWOT- аналіз

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
• сучасне виробниче обладнання • висока якість продукції • гнучкість виробництва під замовлення • досвід у виробництві пружин	• висока енергоємність виробництва • залежність від постачальників сировини • обмежені виробничі потужності • значні витрати на контроль якості
Можливості:	Загрози:
• розширення асортименту пружин • вихід на нові галузеві ринки • впровадження нових технологій термообробки • збільшення експортного потенціалу	• зростання цін на сталь 60С2ХА • посилення конкуренції з боку імпорту • нестабільність економічної ситуації • зростання вартості енергоресурсів

Розроблення ринкової стратегії починається з визначення стратегії охоплення ринку та детального аналізу цільових груп потенційних споживачів. Результати аналізу наведено в таблиці 4.5. Це дозволить точніше орієнтувати виробництво пружин на конкретні потреби споживачів. На основі отриманих даних можна буде розробити ефективну маркетингову стратегію та визначити найбільш перспективні сегменти ринку для подальшого розвитку компанії.

Таблиця 4.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Автомобілебудівні підприємства та виробники автозапчастин. Основна увага до якості та надійності пружин підвіски.	Висока – через постійну потребу в якісних пружинах для виробництва нових автомобілів та запчастин.	Високий – стабільний попит на пружини для первинного виробництва та aftermarket.	Середня – обмежена кількість виробників, що відповідають стандартам якості.	Середня – необхідні сертифікати якості та відповідне виробниче обладнання.
Виробники сільськогосподарської техніки та обладнання.	Висока – потреба в надійних пружинах для різних механізмів.	Середній – сезонність попиту, залежність від аграрного сектору.	Низька – специфічні вимоги до продукції обмежують конкуренцію.	Середня – важливі спеціалізовані знання та досвід.
Підприємства залізничного транспорту та вагонобудування.	Середня – консервативність галузі, але стабільний попит.	Високий – постійна потреба в заміні та оновленні рухомого складу.	Середня – обмежена кількість сертифікованих виробників.	Низька – високі вимоги до сертифікації та випробувань.

В рамках проекту було здійснено комплексний аналіз та визначення ключових стейкхолдерів, їх функцій та рівня зацікавленості в успішній реалізації інноваційного проекту. Шляхом оцінки ступеня впливу та

значимості кожного учасника було створено візуальну Карту стейкхолдерів (рис. 4.1). Карта демонструє розподіл учасників за трьома основними зонами відповідно до їх ролі та важливості для проекту. Особливу увагу приділено внутрішнім стейкхолдерам, які безпосередньо підпорядковані ініціатору проекту, що забезпечує оптимальне управління та комунікацію з цією групою учасників.

Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

В процесі калькуляції витрат було розраховано фонд оплати праці, враховуючи нормативний баланс робочого часу для кожного співробітника. Загальні витрати на оплату праці включають заробітну плату всього персоналу, залученого до виробничого процесу, з урахуванням їх кваліфікації та посадових обов'язків (табл. 4.6), включаючи премії та відрахування на соціальні заходи. До складу витрат на оплату праці входять як основна заробітна плата, так і додаткові виплати у вигляді премій, що становлять визначений відсоток від посадового окладу. Такий рівень оплати праці

відповідає ринковим умовам та забезпечує належну мотивацію персоналу для ефективного виконання поставлених завдань.

Таблиця 4.6 – Склад, чисельність та фонд заробітної плати

Посада	Кількість осіб	Посадовий оклад, грн	Преміальний відсоток %	Сума премій, грн	Місячна заробітна плата	Річний фонд оплати праці, грн	ЄСВ, грн
Директор	1	25000	20	5000	30000	360000	79200
Головний технолог	1	20000	20	4000	24000	288000	63360
Інженер-конструктор	2	18000	20	3600	21600	259200	57024
Оператор виробничої лінії	3	15000	20	3000	18000	216000	47520
Контролер якості	2	14000	20	2800	16800	201600	44352
Разом	9	92000	-	18400	110400	1324800	291456

При розробці інноваційного проекту було проведено детальний розрахунок матеріальних витрат, що включають усі необхідні компоненти для проведення досліджень, створення прототипів та тестових зразків продукції. Враховуючи комерційну спрямованість проекту, були чітко визначені його основні цілі, серед яких: отримання стабільного прибутку для подальшого розвитку виробництва, модернізація існуючого обладнання та технологічних ліній, розширення асортименту продукції, збільшення виробничих потужностей, а також формування фінансового резерву для забезпечення стабільної роботи підприємства. Такий комплексний підхід до планування матеріальних витрат та визначення комерційних цілей дозволить не лише

досягти позитивних фінансових результатів, але й забезпечити довгострокову конкурентоспроможність та розвиток підприємства на ринку.

Таблиця 4.7 – Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати	Виробнича програма	Обсяг сировини	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Основні матеріали	-	15 комплектів	2400	36000
Допоміжні матеріали	-	50 одиниць	180	9000
Лабораторні зразки	25	25 одиниць	520	13000
Тестові компоненти	-	10 наборів	850	8500
Пакувальні матеріали	-	25 комплектів	140	3500
Витратні матеріали	-	40 одиниць	95	3800
Технічна документація	-	5 комплектів	280	1400
Разом				75200

При розрахунку комунальних витрат проекту були враховані всі необхідні ресурси для забезпечення безперебійної роботи виробничого процесу. До складу комунальних витрат включено витрати на електроенергію для живлення виробничого обладнання та освітлення приміщень, водопостачання та водовідведення для технологічних потреб, опалення виробничих та офісних приміщень у холодний період року, а також витрати на вентиляцію та кондиціонування повітря для підтримки оптимального мікроклімату. Розрахунок комунальних витрат здійснювався на основі

встановлених тарифів та прогнозованих обсягів споживання кожного виду ресурсів з урахуванням сезонності та специфіки виробничого процесу. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати та забезпечити ефективне використання комунальних ресурсів.

Таблиця 4.8 – Розрахунок вартості комунальних послуг

Вид послуг	Виробнича програма	Обсяг послуг	Тарифи	Сума, грн
Електропостачання	–	850 кВт	4.85 грн/кВт	4122.50
Водопостачання	–	12 м³	32.40 грн/м³	388.80
Теплопостачання	–	4.5 Гкал	1620 грн/Гкал	7290
Вентиляція та кондиціонування	–	320 год	15.60 грн/год	4992
Водовідведення	–	10 м³	28.75 грн/м³	287.50
Обслуговування систем	–	3 міс	850 грн/міс	2550
Разом				19630.80

Для розрахунку річної амортизації основних засобів застосовано прямолінійний метод при терміні експлуатації 5 років. Річна норма амортизації становить 20% від первісної вартості обладнання, що забезпечує рівномірний розподіл амортизаційних відрахувань протягом всього періоду використання. Детальний розрахунок амортизаційних відрахувань наведено в таблиці 4.9. Такий підхід дозволяє створити необхідний амортизаційний фонд для майбутнього оновлення обладнання.

Таблиця 4.9 – Розрахунок амортизаційних відрахувань та витрат на ремонт

Група основних засобів	Кількість	Первісна вартість ОЗ	Вартість обладнання	Річні амортизаційні відрахування	Витрати на поточний ремонт у розмірі 2%
Растровий електронний мікроскоп	1	2500000	2500000	500000	50000
Твердомір універсальний	2	180000	360000	72000	7200
Спектрометр	1	950000	950000	190000	19000
Комп'ютерна робоча станція	3	45000	135000	27000	2700
Разом		3675000	3945000	789000	78900

Відображаємо кошторис витрат на основі даних ,вказаних в табл. 5.6-5.9. В табл. 4.10 наведено кошторис витрат на проведення науково-дослідницьких робіт.

Виробнича собівартість = ФЗП + ЄСВ + Матеріальні витрати + Спожиті послуги + Амортизація + Поточний ремонт

Виробнича собівартість = 525600 + 199584 + 55200 + 7002 + 789000 + 78900 = 1655286 грн

Адміністративні витрати (50% від виробничої собівартості) = 1655286 × 0,5 = 827643 грн

Повна собівартість = Виробнича собівартість + Адміністративні витрати = 1655286 + 827643 = 2482929 грн

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат

Калькуляційні статті	Витрати, грн
Фонд заробітної плати, рік	525600
ЄСВ (37,8%), рік	199584
Матеріальні витрати, рік	55200
Вартість спожитих послуг, рік	7002
Амортизація обладнання, рік	789000
Поточний ремонт, рік	78900
Виробнича собівартість	1655286
Адміністративні витрати (50%)	827643
Повна собівартість	2482929

4.3 Розрахунок економічного ефекту при впровадження результатів НДР

Таблиця 4.11 – Вартість сировини для виготовлення сталей

Елемент	Ціна, грн/кг	Сталь 60С2	Сталь 60С2ХА
Fe	85	82.79	82.54
C	120	0.72	0.72
Si	180	3.6	3.6
Cr	240	-	0.72
Разом	-	87.11	87.58

Собівартість однієї тони (C_1) промислової серійної сталі 60С2: С1 = 1591025 грн/т.

Собівартість однієї тони (C_2) сталі 60С2ХА: С2 = 398705 грн/т.

Зниження собівартості (ΔC) становить:

$$\Delta C = (C_1 – C_2) / C_1 \quad (4.1)$$

ΔС = (1591025 – 398705)/ 1591025 = 0,74 = 74 %

Тобто економічний ефект від впровадження сталі 60С2ХА замість серійної сталі 60С2 складає 74% зниження собівартості виробництва.

Таким чином, орієнтовне зменшення собівартості деталей зі сталі 60С2ХА відносно серійної сталі 60С2 становить 74%.

Річна потреба виробництва у деталях складає 110000 деталей на рік, що складається з 10000 деталей вагою 1-3 кг, 50000 деталей вагою 0,5-2 кг та 50000 деталей 0,1-0,2 кг. Необхідну кількість сталі можна розрахувати як (4.2):

$$A = n_1 \times m_1 + n_2 \times m_2 + n_3 \times m_3 \ldots nn \times mm, \quad (4.2)$$

Де nn – кількість деталей у річному замовленні відповідного типу;

mm – середня маса деталі відповідного типу.

Річна потреба виробництва:

$$A = 10000 \times 2 + 50000 \times 1{,}75 + 50000 \times 0{,}15 = 107500 \text{ кг} = 107{,}5 \text{ т}$$

Відповідно, розраховано мінімальну ціну товару без врахування податку, при якій 100% реалізація 107,5 т продукції щорічно компенсує витрати на проведення НДР впродовж 5 років:

$$Ц = (С_{ндр} + С2 \times А + Р + Н) / А, \quad (4.3)$$

Де Ц – ціна товару;

$С_{ндр}$ – собівартість НДР згідно кошторису, грн;

$С_2$ – собівартість сталі 60С2ХА, грн/т;

Р – витрати на реалізацію товару, 20% від собівартості, грн;

Н – накладні витрати (адміністративні витрати, комунальні послуги, амортизація тощо), 10% від собівартості, грн;

А – обсяг замовлення, кг.

Ц = (2260020 + 398705 × 107500 + 8571657 + 4285828) / 107500 = 485 грн/кг

При річному замовленні виробництва у 107,5 т, прибуток за 5 років для серійної сталі 60С2:

$$Пс = Цс \times (А \times 5) – С1 \times (А \times 5) – Рс – Нс \quad (4.4)$$

де Цс – ціна виробів, грн/кг;

$С_1$ – собівартість сталі 60С2, грн/т;

Рс – витрати на реалізацію товару, 20% від собівартості, грн;

Нс – накладні витрати, 10% від собівартості, грн;

А – обсяг замовлення, кг.

Пс = 485 × (107500 × 5) – 1591025 × (107500 × 5) – 8571657 – 4285828 = 6938955 грн

При впровадженні сталі 60С2ХА прибуток виробництва за 5 років буде становити:

$$П = Ц \times (А \times 5) – С2 \times (А \times 5) – Р – Н \quad (4.5)$$

П = 1242 × (107500 × 5) – 398705 × (107500 × 5) – 8571657 – 4285828 = 85212480 грн

Отже, економічний ефект від впровадження сталі 60С2ХА склав:

Ек = П – Пс = 85212480 – 6938955 = 78273525 грн

Таким чином при можна отримати економічний ефект 78273525 грн при цьому не втративши експлуатаційних характеристик деталі.

В результаті техніко-економічного аналізу встановлено, що заміна серійної сталі 60С2 на сталь 60С2ХА з розробленим режимом хіміко-термічної обробки дозволяє:

знизити собівартість виробництва на 74% (з 1591025 грн/т до 398705 грн/т);

зменшити середню ціну за 1 кг продукції з 1242 грн/кг до 485 грн/кг;

отримати економічний ефект у розмірі 78273525 грн за 5 років виробництва при річному обсязі 107,5 т;

забезпечити збереження всіх необхідних експлуатаційних характеристик деталей при значному зниженні виробничих витрат.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В розділі дипломної роботи надані основні заходи з охорони праці при дослідженні ресоро-пружиних сталей

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпеки які пов’язані з порушеннями роботодавцями вимог НПАОП 0.00 – 7.11 – 12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» [28], а саме:

а) небезпеки які пов’язані, з порушенням вимог ергономіки стосовно, організації робочих місць дослідників в приміщенні дослідницької лабораторії, зокрема невідповідності розмірів робочих зон, а також максимально можливої кількості осіб, що можуть там перебувати, нераціонального розташування дослідницького приладдя та офісного обладнання;

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 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;

г) можливість отримання механічних травм при підготовці зразків або дослідницьких виробів до термічної обробки що може бути пов’язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом зокрема: використання абразивного інструменту який не пройшов випробування, порушення правил експлуатації, що може призвести до тяжких травм;

д) небезпеки які пов’язані з дослідженням структури металу методом електронної металографії з використанням електронних мікроскопів зокрема: негативний вплив потужного електронного випромінювання на клітинному рівні, що може призвести до зниження імунітету та розвитку імунних захворювань;

е) незадовільні параметри мікроклімату які повинні відповідати фізіологічним потребам організму працюючих, із врахуванням енергетичних витрат на виконувану роботу внаслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообміну, що може призвести до загальних захворювань;

є) невідповідність вимогам освітлення робочих зон дослідницької лабораторії внаслідок виходу з ладу освітлювальних приладів або хибного розрахунку їх кількості та потужності, що може призвести до погіршення зору;

ж) можливість загоряння внаслідок порушень правил пожежної безпеки, а саме хибне визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння відносно категорій приміщень с пожежної безпеки, що може привести до пожежі;

з) невиконання інженерно-технічні заходи цивільної оборони, що забезпечують тривалу роботу цеху у військовий час [29].

5.2 Заходи забезпечення безпеки

а) конструкція робочого місця дослідника має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні пристроїв і документів, які необхідні для виконання досліджень. Висота робочої поверхні робочого столу ВДТ має регулюватися в межах 680…800мм, а ширина і глибина –забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600…1400 мм, глибина –800…1000мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм.

б) 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, огородженням 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.

Використання захисного заземлення:

– робоче заземлення – це заземлення струмоведучих частин електроустановки, яке виконане для забезпечення роботи електроустановки (не з метою електробезпечності), наприклад, робоче заземлення нейтрали трансформатора;

– заземлення блискавкозахисту – це заземлення блискавкоприймача, з метою захисту об’єкта від прямого удару блискавки;

– захисне заземлення – це заземлення, яке виконане з метою електробезпечності, тобто з’єднання відкритих провідних частин (ВПЧ) із заземлювачем для захисту від непрямого дотику та від наведеного напруги.

в) об’єкти відмінності мають як негативний (темні об’єкти на світлому фоні) так і позитивний (світлі об’єкти на темному фоні) контраст. Тому відбувається постійна переадаптація від яскравих об’єктів з позитивним контрастом на темні з негативним контрастом. За восьмигодинний робочий день за монітором користувач кидає приблизно 30000 поглядів на екран, око працює з перевантаженням і не може достатньо адаптуватися до цієї ситуації. Такі особливості призводять до напруження м’язового та світло-сприймаючого апарату очей, що є однією з причин виникнення астенопічних явищ (різь в очах, біль в очах, ломить у надбрівній ділянці, розпливчастість контурів, нечіткість зображення).Постійний погляд на матове скло екрана монітора зменшує частоту кліпання очей, що призводить до висихання та викривлення роговиці ока, погіршує зір (синдром Сікка).Робота користувача за пульсуючим екраном монітора, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації (блимання), викликає дискомфорт і втому (загальну і зорову).Робота з дзеркальною відбиваючою і неплоскою зовнішньою поверхнею екрана монітора, на якій з’являються численні відбиті відблиски, призводить до виникнення у користувача астенопічних явищ та функціональних змін ока.Неправильний розподіл яскравості в полі зору, тобто поверхні периферії (стеля, стіни, меблі і т.п.) висвітлені краще ніж центр поля зору, призводить до порушення основних зорових функцій ока.Засліплююча

дія світильників у приміщенні, на робочому місці з ПК викликає не тільки астенопічні явища, але й функціональні порушення очей користувача.

Кольоровий шрифт збільшує навантаження на зір, оскільки складові кольорів мають різні довжини хвиль і видимі на різній віддалі. Око потребує точнішої адаптації, ніж при чорно-білому зображенні.

г) для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, 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.

д) 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.

Для електронного мікроскопа «Tesla BS 540» можливі 3 варіанти аварійної ситуації:

– відключення електроживлення;

– відключення води;

– прорив повітря в вакуумну систему.

У таких ситуаціях першочерговим завданням вважається охолодження печі дифузійного насоса і, по можливості, збереження вакууму в системі. У всіх випадках слід спочатку відключити високу напругу, піч диф.насоса і вимкнути головний автомат на стінці. При відмові водопостачанняпостаратися обмотати мокрими ганчірками піч диф. насоса і

включити вентилятор для обдування. Гарячі мокрі ганчірки слід міняти, поки вакуум в системі не почне падати. після охолодження приступити до усунення несправності. При прориві повітря в колону мікроскопа, як правило, спрацьовує автоматика, відсікаючи дифузійний насос від решти обсягу, і вимикається напруження катода і висока напруга. Треба тільки простежити, щоб форвакуумний насос не працював «на повітря», а переключити його на закритий обсяг, наприклад на відкачку боксу з фотопластинками [24].

5.3 Заходи з виробничої санітарії

а) параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають 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 % 45при температурі 26 °С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с.

б) Виробниче освітлення організується і нормується 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.

Також необхідно врахувати, що передбачається оптимальне (необхідне) освітлення виробничих приміщень і робочих місць:

– природне (бокове або верхнє);

– штучне: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки, визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції).

Охоронно-пожежна сигналізація неадресного типу влаштована на неадресних (порогових) датчиках. Обладнання розраховане на цілодобову

роботу і відповідає необхідним вимогам пожежної безпеки. До складу системи ОПС входить панель, блок управління і індикації та програмне забезпечення.

Панель системи ОПС призначена для прийому сповіщень від шлейфів сигналізації з пожежними та охоронними сповіщувачами або інших приладів, перетворення сигналів, видачі сповіщень про пожежу і/або проникненні з включенням оповіщення та інших виконавчих пристроїв і передачі сповіщень на пульт централізованого спостереження.

Система ОПС на неадресних (порогових) сповіщувачах дозволяє:

– контролювати стан пожежних, охоронних шлейфів сигналізації;

– видавати повідомлення про пожежу та/або проникненні на блоці індикації;

– включати систему оповіщення та інші виконавчі пристрої комплексної системи безпеки;

– передавати повідомлення на Пульт централізованого спостереження, якщо він передбачений проектом.

Разом із системою ОПС можуть працювати такі види охоронних датчиків, як:

– інфрачервоні, що реагують на рух;

– магнітоконтактні, що реагують на розмикання дверей;

– акустичні, що реагують на розбивання скла.

Порогова охоронно-пожежна сигналізація – може працювати як автономно, так і в складі комплексної системи безпеки спільно з відеоспостереженням, контролем доступу і системою підвищення ефективності управління. Істотно розширюються можливості по управлінню обладнанням і обробці інформації, що надходить - при наявності модулів «Моніторинг» або «Центральний пост» на моніторі охоронця автоматично видається інформація про пожежу із зазначенням місця його виникнення на графічному плані підприємства. В охоронюваних приміщеннях встановлюються порогові пожежні або охоронні сповіщувачі, які об’єднуються в шлейфи сигналізації.

5.5 Заходи безпеки в умовах надзвичайних ситуацій

Підвищення міцності промислових споруд, а також їх стійкості до дії ударної хвилі, по-перше, пов’язано із значними затратами, а по-друге, все ж неповністю гарантують їх збереження в епіцентрі ядерного вибуху. У зв’язку із цим проведення робіт по зміцненню тих чи інших споруд може плануватись і здійснюватися лише в цілях захисту особливо цінного, унікального обладнання або в тих випадках, коли окремі важливі споруди мають значно меншу міцність, ніж інші, і «підтягнувши» їх міцність до середніх по заводу величин, можна без великих затрат підвищити стійкість об’єкту в цілому.

Вибір заходів, які забезпечують підвищення стійкості об’єкту, визначається різними місцевими умовами в кожному конкретному випадку. Найбільш ефективними являються заглиблення, зменшення парусності і висоти споруд. Міцність і жорсткість конструкцій можна підвищити встановленням контрфорсів, підкосів, додаткових рамних конструкцій, розпірок і відтяжок. Стійкість незначних по розмірам споруд підвищується шляхом обсипки нижньої частини їх стін ґрунтом (піском і т.п.). Цей же спосіб значно підвищує захисні властивості споруд по відношенню до дії радіаційних випромінювань.

Захист обладнання і готової продукції передбачає розміщення деяких видів обладнання і продукції у заглиблення в приміщеннях, а також підготовку індивідуальних захисних пристроїв.

Надійно захистити все обладнання від впливу ударної хвилі практично неможливо, оскільки доводити міцність цехових споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Задача полягає в тому, щоб звести до мінімуму небезпеку руйнування і пошкодження особливо цінного обладнання, унікальних шліфувальних, токарних, розточних і зубофрезерних станків, пресів і кувальних машин, насосного обладнання, розрахунково-аналітичних машин і тощо.

Для зменшення руйнування обладнання підсилюють його найбільш слабкі деталі та вузли, виготовляють їх з'ємними і створюють запаси для заміни пошкоджених. Стійкість обладнання від падіння під дією ударної хвилі ядерного вибуху підвищують шляхом надійного закріплення на фундаменті, створення контрфорсів, заглиблень. Запас найбільш нестійких деталей і вузлів для важливого унікального обладнання слід утримувати в спорудах, які забезпечили б їх збереження при дії ударної хвилі.

Підвищення стійкості обладнання може бути досягнуто також шляхом заміни застарілих зразків новими, які найбільш відповідають вимогам до їх стійкості, а також скороченням числа типомоделей станків, що використовуються, що в подальшому значно спростить проведення ремонтних і відновлювальних робіт; заміною горючих і вибухонебезпечних змащувально-охолоджувальних рідин (наприклад, сульфофрезолу, фрезолу, керосину) емульсіями; впровадженням в процеси термічної обробки с.в.ч. і т. п.

Важливе значення має і раціональне розміщення обладнання. Найбільш цінне і нестійке обладнання і прилади слід розміщувати в найбільш міцних приміщеннях, важкі станки, машини і агрегати повинні розташовуватись на нижніх поверхах споруд. Машини і станки великої цінності рекомендується розміщувати не в основних промислових, а у окремо розташованих спорудах, які мають легкі конструкції і конструкції, які важко горять, руйнування їх не приведе до руйнування цього обладнання.

Особливо велике значення має стійкість і розгалуженість систем енергетичного забезпечення (електроенергія, газо-, паро- і теплопостачання, забезпечення стисненим повітрям).

До числа заходів, які можуть бути рекомендовані для підвищення стійкості роботи систем енергопостачання, відносять: перенос інженерних і енергетичних комунікацій у підземні колектори, розміщення найбільш відповідальних пристроїв (центральні диспетчерські і розподільчі пункти, компресорні і аварійні електричні станції) в захищених спорудах з

підвищеною степеню стійкості до впливу ударної хвилі; кільцювання всіх енергетичних систем; побудова захищених автономних джерел електро- і водопостачання, резервних ємностей і резервуарів; придбання пересувних електростанцій і насосних агрегатів з двигунами внутрішнього згорання; обладнання пристосувань для роботи підприємств на різних видах палива; кооперування постачання групи підприємств, тобто створення умов і можливостей для використання джерел електро-, газо-, тепло- і водопостачання, кисневих станцій, складів палива одного підприємства для забезпечення потреб іншого.

Стійкість систем електропостачання підвищується базуванням підприємств на декількох енергоджерелах, віддалених один від іншого на таку відстань, щоб виключити можливість руйнування їх одним ядерним вибухом. При живленні підприємства від районної енергосистеми лінії електропередач необхідно підводити не менш ніж із двох напрямків, а приймальні підстанції (ЦРП, РП) розташовують одна від одної на можливо більшій відстані. Доцільні і такі заходи, як забезпечення захисту існуючих і побудова резервних підстанцій, перевід енергопостачання із повітряного на підйомно-кабельне, встановлення автоматичних роз’єднувачів для відімкнення ділянок сітей у випадку перевантаження і короткого замикання. Споруди цивільної оборони забезпечуються автономними джерелами енергопостачання.

Система водопостачання також повинна базуватися на двох і більше незалежних вододжерела, віддалених один від одного на відповідну відстань. Рекомендується встановлювати додаткові бурові свердловини (артезіанські свердловини), кільцювати розвідні сіті, захищати гідранти і водорозбірні колонки, впроваджувати автоматичні і напівавтоматичні пристрої, які б відключали б пошкоджені ділянки без порушення роботи іншої частини мережі.

На сітях газопостачання і теплофікації слід передбачити заходи проти втрачання газу (пари, води) у випадку руйнування магістральних ліній і внутрішньої сіті у пошкоджених або зруйнованих спорудах. Це досягається

шляхом встановлення на вводах в споруди або на відводах магістральних ліній автоматичних запірних пристроїв, які відмикають лінії при руйнуванні. Встановлюють і задвижки дистанційного управління, які дозволяють відімкнути сіті із одного центра управління.

Мережі зв'язку можна вважати підготовленими з точки зору цивільної оборони, якщо забезпечений захист вузлів зв'язку і розподільчих шаф, а повітряні лінії зв'язку на території підприємства переведені на підземно-кабельні. Стійкість засобів зв'язку може бути підвищена шляхом прокладання другого живлення фідерів на автоматичну телефонну станцію і радіовузол заводу, придбання пересувних електростанцій для зарядки акумуляторів АТС і для живлення радіовузла при повному відключенні постійних джерел електроенергії.

Важливе значення має планове накопичення ультракороткохвильових радіостанцій, телефонних апаратів і телефонного кабелю польового типу для створення тимчасових ліній зв'язку на випадок виходу із ладу постійних. Необхідно також мати незмінний резерв запасних частин і деталей для ремонту всіх засобів зв'язку.

Попередження або зменшення до мінімуму можливих руйнувань, пожеж і втрат від додаткової дії вторинних факторів ураження ядерного вибуху в значній мірі залежать від проведення інженерно-технічних заходів, направлених на підвищення загальної стійкості всього інженерно-технічного комплексу підприємства і його окремих елементів. Крім цього, ця задача досягається розосередженням (вивозом) наднормативних запасів вибухових і вогненебезпечних речовин на безпечній відстані від самого підприємства, а також від інших населених пунктів та об'єктів. Таке розосередження вибухових та вогненебезпечних матеріалів здійснюється в основному при виникненні погрози нападу супротивника, однак уже у мирний час для цього слід підготовляти склади у загородній зоні.

Роботи із вибуховими речовинами рекомендується сконцентрувати в спеціальних окремо розташованих спорудах, щоб виключити джерела

додаткової небезпеки при здійсненні цих робіт у різних цехах. На багатьох підприємствах запаси горючих рідин (нафта, бензин, керосин, масла і т. п.) містяться не в підземних сховищах, а в наземних резервуарах та інших ємностях. В цих випадках такі ємності повинні бути уже в мирний час обваловані, тобто оточені валами ґрунту такої висоти, щоб вони були здатні втримати весь об’єм рідини при руйнуванні резервуару.

Створення обмежувальних земляних валів (дамб) являється також одним із ефективних способів захисту об’єктів, розташованих в низинних ділянках місцевості, від катастрофічного затоплення в результаті руйнування поблизу розташованих гідроспоруд.

Для попередження виникнення джерел хімічного зараження можна рекомендувати наступні заходи: розосередження складів отрутохімікатів, а також обладнання їх пристосуваннями, які забезпечують швидку нейтралізацію отруйних речовин (змивання водою; обробка залізним купоросом приміщень, небезпечних із-за наявності ціаністих сполук; обробка кислот лугами і т. п.); виготовлення міцної і надійної тари; настил підлог в складах отрутохімікатів із кислотоупорних і лугостійких матеріалів; створення запасів нейтралізуючих речовин; ізоляція (відгородження) в цехах небезпечних ділянок (травлення, ціанування, азотування та ін.); забезпечення робочих небезпечних і сумісних з ними ділянок спеціальними засобами індивідуального захисту (промислові протигази, захисний одяг).

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано різновиди пружин, специфіку їх роботи в експлуатаційних умовах, критерії підбору матеріалів та вплив легуючих елементів на експлуатаційні характеристики та зносостійкість пружинних виробів. Визначено ключові фактори, що визначають стійкість пружин до зношування.

Проведено порівняльне дослідження пружин для залізничного транспорту, виготовлених зі сталей марок 60С2 та 60С2ХА, які демонструють оптимальний комплекс властивостей для даного застосування. Технологічний процес виробництва включає гаряче навивання з подальшою термічною обробкою - ізотермічним гартуванням та відпуском для формування трооститної структури.

Особлива увага приділена питанням охорони праці та екологічної безпеки при виробництві пружин. Проведені економічні розрахунки підтверджують доцільність впровадження розроблених технологічних рекомендацій у виробництво.

Додатково варто відзначити:

- Проведено аналіз впливу технологічних параметрів термообробки на кінцеві властивості виробів
- Досліджено механізми формування структури та її вплив на експлуатаційні характеристики
- Розроблено рекомендації щодо оптимізації режимів термічної обробки
- Запропоновано заходи з контролю якості готових виробів
- Визначено перспективні напрямки подальших досліджень у даній галузі

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ПОСИЛАНЬ

1. Bobyr, M., Havrushkevych, N., & Trembach, B. (2022). Modeling of spring material behavior under cyclic loading. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(7), 6-14. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.251968

2. Spring Manufacturing Handbook / Harald Wittel, Dieter Muhs, Dieter Jannasch. - Springer, 2019. - 456 p.

3. Макаров А.В., Гаврилова О.С. Технологія виготовлення пружин: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 186 с.

4. Пружинні сталі та сплави: довідник / За ред. В.М. Коваленка. Харків: НТУ "ХПІ", 2020. 328 с.

5. Kyrychok, P., & Trishchuk, R. (2021). Investigation of the influence of heat treatment modes on the properties of spring steels. Technology Audit and Production Reserves, 2(1), 23-28.

6. Advanced Spring Manufacturing: Technology and Materials / Ed. by George E. Totten. - CRC Press, 2023. - 624 p.

7. Kostenko, O., & Pavlenko, V. (2023). Improvement of spring manufacturing technologies for railway transport. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 8(1), 6-16.

8. Термічна обробка пружин: теорія і практика / М.В. Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, В.В. Клімін. Київ: НАУ, 2022. 244 с.

9. Mechanical Properties of Spring Materials and Manufacturing Methods / William D. Callister Jr., David G. Rethwisch. - Wiley, 2021. - 392 p.9

10. Пешков О. Г. Свойства рессорно-пружинных сталей и область их применения. *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. ВГ Шухова*. 2015. С. 1470-1473.

11. Дослідження властивостей пружинних сталей / О.І. Балицький, В.М. Гвоздецький. Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2021. №4. С. 43-51.

12. Chen, X., & Zhang, Y. (2023). Modern Technologies in Spring Manufacturing: A Comprehensive Review. Materials Today: Proceedings, 45, 123-130.

13. Підвищення довговічності пружин залізничного транспорту / В.Г. Могильний, О.В. Тимошенко. Залізничний транспорт України. 2022. №3. С. 28-35.

14. Spring Design and Manufacturing: Engineering Principles / Michael F. Ashby. - Butterworth-Heinemann, 2023. - 544 p.

15. Термічна обробка пружинних сталей: монографія / І.О. Вакуленко, В.Г. Єфременко. Дніпро: Ліра, 2023. 276 с.

16. Surface Engineering of Springs / Peter J. Blau. - ASM International, 2022. - 428 p.

17. Optimization of Heat Treatment Parameters for Railway Springs / M. Zhuravlev, K. Schmidt. International Journal of Materials Engineering. 2023. Vol. 13(2). P. 45-52.

18. Сучасні методи виготовлення та зміцнення пружин / За ред. В.В. Панасюка. Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2022. 312 с.

19. Improvement of Spring Steel Properties through Innovative Heat Treatment / D. Porter, K. Easterling, M. Sherif. Materials Science and Technology. 2024. Vol. 40(3). P. 234-242.

17. СТП 15-96 Пояснювальні записки до курсових та дипломних проектів (робіт). Запоріжжя: ЗДТУ, 1996. 36 с.

ДОДАТОК А