Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗНТУ Інженерно-фізичний
(повне найменування інституту, назва факультету)
Фізичного матеріалознавства
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)

Магістр
(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження впливу технології отримання дротяної автомобільної кон'ї конструкційну міцність.

Виконав: студент 6 курсу, групи ІФ-213
спеціальності (напряму підготовки)
132 Матеріалознавство
(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Порошина І.В.
(прізвище та ініціали)
Керівник Пікт Д.В
(прізвище та ініціали)
Рецензент Березний С.П.
(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Інженерно - фізичний

Кафедра Фізичного матеріалознавства

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) Магістр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

(код і назва)

Напрям підготовки Прикладне матеріалознавство

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Климов О.В.

"13" 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Порошенко Іван Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу технології обробки деталей оснащення на їх конструкційну міцність,

керівник проекту (роботи) Ткач Дарія Володимирівна доцент ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "16" 10 2018 року № 264

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.18

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Марки сталей, технічні вимоги до матеріалів, організація технологічного процесу, виробів, заходи безпеки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз умов експлуатації, вимог до та термообробки автомобільних пружин. 2. Матеріали та методика дослідження 3. Особливості технологічного процесу термічної обробки пружин 4. Дослідження впливу технології виготовлення на експлуатаційні властивості пружин 5. економічна ефективність від використання результатів дослідження 6. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Вплив глибини зневуглецьованого шару на втому міцність сталі 60С2А. 2. Характеристики ресорно-пружинної сталі 60С2А. 3. Границя витривалості сталі 60С2А в залежності від температури гартування. 4. Вплив інтенсивності дробоструминного наклепу на границю витривалості зразків.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Охорона пр	Нестеров О.В. к.т.н. доц		
Економ. ч	Крупікова В.В., доцент, к.т.н.		
Нормоконтр	Пліс О.В. доц. к.т.н		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз умов експлуатації, вимоги -	01.10 - 06.11	
	вобки та термообробки автомобільних пру -		
	жин.		
2.	Матеріали та методика дослідження	01.11. - 20.11	
3.	Особливості технологічного процесу	24.11 - 28.11	
	термічної обробки пружин.		
4.	Дослідження впливу технології	01.12 - 06.12	
	виготовлення на експлуатаційні		
	властивості пружин		
5.	Економічна ефективність від	08.12 - 11.12	
	використання результатів дослідження		
6.	Охорона праці та безпека у надзви -	11.12 - 14.12	
	чайних ситуаціях.		

Студент _____ Пороховніков І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____ Пліс О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи містить: с., рис., табл.,джерел.

Метою дипломної роботи є підвищення експлуатаційних властивостей пружин автомобіля шляхом регулювання параметрів термообробки та за допомогою поверхневого пластичного деформування.

Предметом дослідження є використання поверхневого пластичного деформування для підвищення границі витривалості пружин зі сталі 60С2А.

Об’єктом дослідження є циліндрична пружина з конструкційної ресорно-пружинної сталі 60С2А.

Досліджено вплив параметрів термічної обробки на границю витривалості сталі 60С2А. Підвищення температури гартування позитивно впливає на витривалість. Застосування ізотермічного гартування з наступним відпуском значно підвищує границю витривалості сталі 60С2А порівняно зі звичайною термообробкою. Показано ефективність використання поверхневого пластичного деформування для підвищення втомної міцності циліндричних пружин з ресорно-пружинної сталі. На характеристики впливала інтенсивність поверхневого пластичного деформування. Границя витривалості підвищувалась зі зростанням інтенсивності ППД, але надто висока інтенсивність, навпаки, її знижувала.

Розглянуто особливості технологічних процесів виготовлення циліндричних пружин.

Розраховано економічний ефект від використання поверхневої пластичної деформації при обробці пружин. Розглянуті заходи для збереження життя та здоров’я працівників лабораторії.

РЕСОРНО-ПРУЖИННА СТАЛЬ, ПОВЕРХНЕВЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ДРОБОСТРУМІННИЙ НАКЛЕП, ІЗОТЕРМІЧНЕ ГАРТУВАННЯ, МІКРОСТРУКТУРА, , ГАРТУВАННЯ, ВІДПУСК

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ 2
ВСТУП 7
1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ТЕРМООБРОБКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПРУЖИН 8
1.1 Особливості експлуатації та причини відмов пружних елементів автомобілів……...8
1.2 Вплив легувальних елементів на структуру та властивості ресорно-пружинних сталей…….....13
1.3 Особливості виробництва та термічної обробки пружин 16
1.3.1 Виготовлення……....16
1.3.1.1 Технологія холодного навивання пружин без термообробки……16
1.3.1.2 Технологія холодного навивання пружин з термообробкою…….17
1.3.1.3 Технологія гарячої навивки пружин з термообробкою……..18
1.3.1.4 Обладнання та оснастка……18
1.3.2 Термообробка……19
1.4 Методи підвищення експлуатаційних властивостей пружин 24
1.5 Мета та постановка завдання роботи…….28
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ..... 30
2.1 Матеріали та технологія їх отримання..... 30
2.2 Дослідження механічних властивостей 30
2.3 Дослідження мікроструктури 34
3. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРУЖИН..... 36
3.1 Технологічний процес термічної обробки пружин..... 36
3.2 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів..... 42
3.2.1 Вхідний контроль……..43

3.2.2 Технологічний контроль……..44
3.3 Види дефектів при термічній обробці деталей з ресорно-пружинних сталей, та заходи по їх усуненню і попередженню..... 47
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЙ ВЛАСТИВОСТІ ПРУЖИН..... 49
4.1 Особливості виготовлення пружин автомобіля..... 49
4.2 Вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин 54
4.3 Підвищення витривалості пружин методами поверхневого пластичного деформування 62
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ……68
5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу……...68
5.2 Система планування та управління……...69
5.2.1 Складання переліку етапів робіт 69
5.2.2 Графік Ганта……..73
5.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи……76
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 83
6.1 Аналіз потенційних небезпек..... 83
6.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки..... 84
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці..... 87
6.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки..... 91
6.5Заходи з цивільної оборони..... 91
6.6 Висновки з розділу «Охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»……...94
ВИСНОВКИ..... 95
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ……..97

ВСТУП

Підвищення довговічності та експлуатаційної надійності деталей і вузлів машин є однією з найважливіших задач машинобудування. Визначальним фактором при цьому служить конструктивна міцність - комплекс показників, які обумовлюють працездатність матеріалу виробу в певних умовах експлуатації.

Значну групу конструкційних матеріалів складають ресорно-пружинні сталі, які повинні в залежності від призначення і умов служби пружних елементів мають володіти певним комплексом механічних властивостей: міцність в умовах статичних, циклічних або динамічних навантажень, пластичністю і в'язкістю, а також високим опором малим деформацій. Ці сталы широко використовуються машинобудуванні при виготовленні ресор, пружин, торсіонних валів.

Однією з найбільш важливих характеристик сталей, використовуваних для виготовлення пружних елементів, є опір руйнуванню при циклічних навантаженнях.

Ефективним способом підвищення витривалості пружин є використання дробоструминного наклепу. При обробці деталі дробом відбувається деформація поверхневого шару матеріалу деталі, що пов'язано зі збільшенням його об’єму, в результаті чого в ньому виникають залишкові напруження стиснення, які знижують рівень напружень розтягу, що виникають при роботі деталі, що підвищує втомну міцність.

1 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ТЕРМООБРОБКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПРУЖИН

1.1 Особливості експлуатації та причини відмов пружних елементів автомобілів

Підвіска автомобіля служить для пом'якшення ударів і поштовхів, які сприймаються колесами від нерівностей дороги, гасіння коливань рами або кузова і зниження динамічних навантажень на несучу систему [1].

Характеристика підвіски впливає на довговічність, як самої машини, так і цілого ряду її вузлів та деталей. В тяжких дорожніх умовах саме можливості підвіски, а зовсім не потужність двигуна, визначає середні та максимальні швидкості руху. Перелік робочих процесів у підвісці наведено у табл. 1.

Таблиця 1 - Перелік робочих процесів у підвісці [2]

Найменування процесів	Позитивні (+) та негативні (-) наслідки
1	2
Постійна зміна відстані між віссю колеса та несучою системою, при передачі реацій від колеса	(-) Втома металу пружин, ресор, стабілізаторів поперечної стійкості. Зношення ущільнень. (+) Плавність руху.
Згинання пружин, ресор, закручування торсіонів зменшення (збільшення) тиску в пнемо підвісці Збільшення (зменшення) жорсткості активних підвісок.	(-) Втома металу пружин, ресор, торсіонів, стабілізаторів поперечної стійкості та злом. Зношення ущільнень. (+) Плавність руху.
Резонансні коливання	(-)

Продовження табл. 1.1

1	2
Передача сил та моментів до та від коліс, згинання направляючих елементів.	(-) Прогин. Зміна кутів установлення коліс.
Гасіння коливань автомобіля амортизаторами.	(+) Плавність руху.

Підвіска автомобіля складається з таких пристроїв: пружного елемента; напрямного пристрою; гасильного елемента. Як пружний елемент у підвісках використовують металеві листові ресори, циліндричні пружини, торсіони (стрижні, що працюють на скручування). Неметалеві пружні елементи забезпечують пружні властивості підвіски за рахунок пружності гуми, стисненого повітря або рідини; вони менш поширені, ніж металеві. Іноді в підвісках застосовують комбіновані пружні елементи, які складаються з металевих і неметалевих елементів [3].

Робота пружних елементів у машинах полягає в накопиченні енергії та її подальшої віддачі або в здійсненні необхідного постійного натискання. Для можливості накопичення більшої кількості енергії на одиницю маси прийнято застосовувати елементи з можливістю більш рівномірного напруженого стану та мінімальними габаритами.

По виду сприймаючого навантаження пружини можна класифікувати на: пружини розтягування, пружини стискання, пружини кручення, пружини згинання, пружини кручення і згину [4].

Форма пружин і переріз пружних елементів дуже різноманітні, залежно від конкретного призначення та конструкції самої машини. Найбільш широко з пружних елементів у приладо- і машинобудуванні використовуються циліндричні гвинтові пружини (рис. 1.1). Вони представляють собою брус, вісь якого є гвинтова лінія, розташована на

циліндричній поверхні. Вони прості і компактні по конструкції, надійні в роботі. Вони виготовляються шляхом холодного або гарячого навивання дротів з круглим, квадратним або прямокутним поперечним перерізом на спеціальні оправки [5].

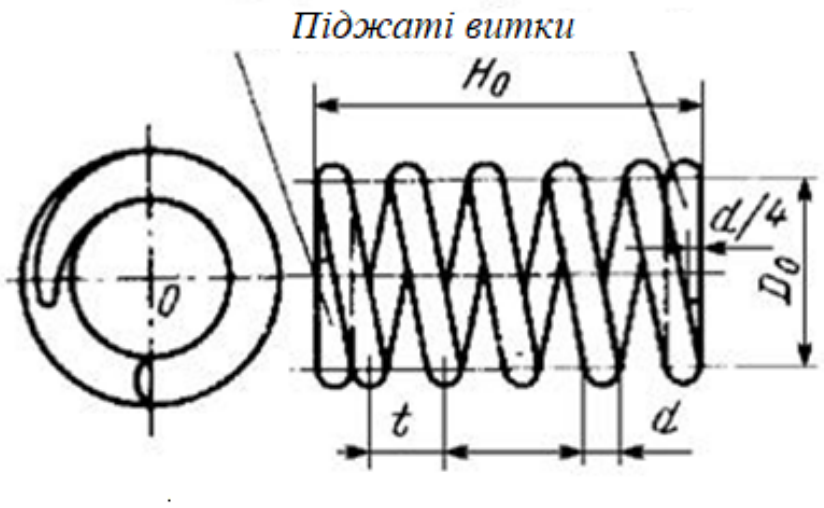


Рисунок 1.1 – Циліндрична пружина стискання

Найрозповсюдженішими причинами відмов пружин є :

- Втома металу в результаті змінних навантажень;

- Пошкодження поверхні пружини (тертя, каміння, повне стиснення пружини);

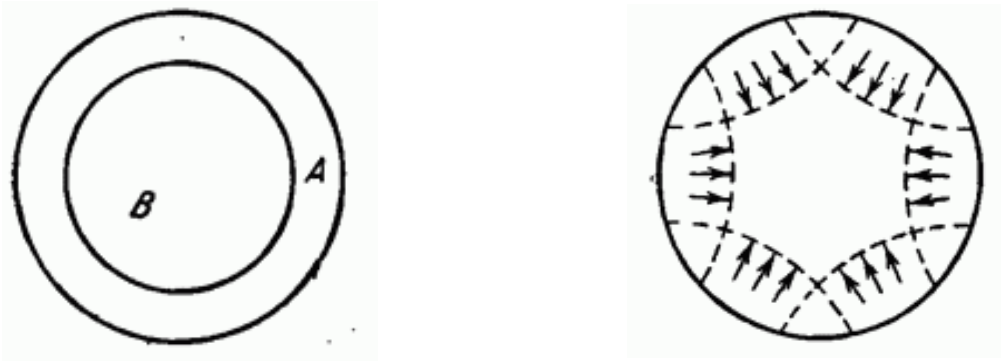
- Корозія металу (підвищена вологість, вплив дорожньої солі).

Втомне руйнування спостерігається майже завжди при неоднорідному напруженому стані, при вигині або при розтягуванні виробу, що має концентратор напруги. У тому місці, де напруга є найбільшою, зазвичай на поверхні, виникає тріщина, яка поступово поширюється вглиб. Незважаючи на наявність тріщини, виріб ще не втрачає несучої здатності і може витримати кілька тисяч і навіть мільйонів циклів. Коли тріщини досягають достатньої глибини і напруження в незруйнованій частині перетину, яка

сприймає все навантаження, виявляється настільки великим, що матеріал не може їх витримати, відбувається раптовий злам (рис. 1.2) [6].

Рисунок 1.2 – Втомний злам витків пружин [7]

Перетин зразка, поламаного в результаті випробування на втому при згині, схематично показано на рис. 1.3, а. У кільцевій області «А» поверхня зламу представляється дрібнозернистою, блискучою, із згладженими нерівностями. Втомна тріщина розкривається в розтягнутій зоні і змикається в стиснутій, результатом цього є обминання поверхні тріщини, іноді ця поверхня здається заполірованою. В області «В» спостерігається типова картина крихкого руйнування, тут видно відносно великі зерна, які зберегли гострі ребра, поверхня зламу матова. Поширення втомної тріщини зазвичай починається від деякого осередка початкового руйнування, де внаслідок тих чи інших причин створена велика місцева концентрація напружень або є який-небудь дефект матеріалу. При випробуванні на знакозмінний згин перші тріщини утворюються майже одночасно в декількох точках на поверхні зразка, поширення їх схематично показано на рис. 1.3, б; іноді на зламі можна виявити кілька окремих фронтів тріщин, що йдуть від різних точок поверхні [8].



а б

Рисунок 1.3 – Схематичні зображення перетину пружини після зламу: а) умовні області зламу; б) поширення тріщин

Мікроскопічні дослідження показують, що втомна тріщина, як правило, проходить крізь тіло кристалічного зерна; по межах зерен вона може пройти тільки випадково, на деякій частині свого шляху. Металографічні та рентгенографічні дослідження показують, що циклічні навантаження не викликають у металі будь-яких структурних змін, але в окремих кристалічних зернах спостерігається невелика пластична деформація, яка не відрізняється принципово від пластичної деформації при статичному навантаженні. Незначні пластичні деформації в окремих, найбільш несприятливо розташованих зернах існують і при статичних навантаженнях тоді, коли напруження значно нижче границі текучості або границі пружності. Дійсно, границя пружності завжди визначається умовно н знаходження істинної границі, при якій з'являються перші пластичні деформації, практично неможливо [9].

При знакозмінних навантаженнях групи дислокацій в площинах ковзання рухаються то в одному, то в іншому напрямку, при цьому підвищується ймовірність накопичення значної кількості дислокацій на обмеженій ділянці. Якщо число дислокацій, що зібралися біля перешкоди, досить велике, в матеріалі може виникнути тріщина. Накопичення дислокацій близько перешкоди представляє собою локальне зміцнення матеріалу, утворення тріщини знімає це зміцнення; при наступних циклах в

тій же площині ковзання зрушення відбувається безперешкодно, нові дислокації як би стікають в тріщину, яка за рахунок цього зростає [10].

Отже, особливості роботи пружин полягають в тому, що при значних змінних та статичних навантаженнях в них не припустима залишкова деформація. Тому вироби повинні володіти високими показниками опору пластичним деформаціям (оцінюється границею пружності) та границі витривалості при достатніх пластичності та опору крихкому руйнуванню, мати підвищену релаксаційну стійкість (оцінюється опором релаксації напружень, що полягає в зниженні робочих напружень в виробі при заданій пружній деформації).

1.2. Вплив легувальних елементів на структуру та властивості ресорно-пружинних сталей

Пружини для підвіски виготовляють з ресоро-пружинних сталей, які володіють високими границями пружності (плинності), зносостійкістю, достатньою в’язкістю та пластичністю. Ресорно-пружинні сталі мають в своєму складі близько 0,5...0,7% С. Структурний клас наведених сталей у відпаленому стані доевтектоїдний, а в нормалізованому – перлитний. Вироби з цих сталей піддають гартуванню та середньому відпуску для забезпечення високого опору пластичним деформаціям (границі пружності) та границі витривалості при достатніх пластичності та опору крихкому руйнуванню. Термообробка, також, підвищує релаксаційну стійкість. Після гартування ці сталі мають структуру мартенситу гартування. Така структура характеризується великою твердістю (HRC 60), крихкістю та низькою міцністю через внутрішні напруження. Після середнього відпуску формується структура трооститу відпуску, що має нижчу твердість (HRC 38...48), але забезпечує високі пружні властивості та міцність. Гартування

деталей з цих сталей проводять в захисній атмосфері або із використанням печей-ван для запобігання зневуглецюванню [11].

Найбільш часто для легування ресорно-пружинних сталей використовують легувальні елементи в наступних концентраціях: 1,5 - 2,8% Si, 0,6 - 1,2% Mn, 0,2 - 1,2% Cr; 0,1 - 0,26% V; 0,8 - 1,2% W і 1,4 - 1,7% Ni. Ці елементи забезпечують необхідну загартованість і прогартовуваність, підвищують релаксаційну стійкість сталей та границю пружності.

Кремній підвищує прогартовуваність, затримує розпад мартенситу при відпуску і значно зміцнює ферит. Кремнисті сталі (50С2, 55С2 і 60С2) мають високі границі плинності і пружності, що забезпечує високий комплекс властивості. Однак кремнисті сталі схильні до зневуглецювання, утворення поверхневих дефектів при гарячій обробці та графітоутворення, що знижує границю витривалості. Додаткове легування кремнистих сталей Cr, Mn, W, Ni збільшує їх прогартовуваність і зменшує схильність до зневуглецювання, графітизації і зростання зерна при нагріванні [12].

Механічні властивості кремнистих сталей значно поліпшуються при введенні бору і титану або таких сильних карбідоутворюючих елементів як хром, ванадій, цирконій [13].

Додаткове легування кремнистої сталі хромом (0,5 - 1%) або хромом та ванадієм (сталі 60С2Х0.5, 60С2Х або 60С2ХФА) більш ніж в 2 рази збільшує прогартовуваність і майже в 2 рази зменшує глибину зневуглецьованого шару. Легування одним ванадієм або цирконієм мало впливає на технологічні характеристики сталі, проте вони подрібнюють зерно і гальмують його зростання при нагріванні до 1000 - 1100 °С. Дещо слабше в цьому відношенні впливає легування хромом [14].

Легування сильними карбідоутворюючими елементами дозволяє також підвищити властивості міцності при підвищених температурах відпуску внаслідок сповільнення процесу знеміцнення.

Так, наприклад, після відпуску при 500 °С сталь типу 60С2ХФА характеризується наступними властивостями: σ_B = 160 МПа, $\sigma_{0,2}$ =

142 МПа, $\sigma_{0,001}$ = 102 МПа, δ = 8,5% и Ψ = 32%, тоді як властивості сталі 60С2 нижче – σ_B = 136 МПа, $\sigma_{0,2}$ = 120 МПа, $\sigma_{0,001}$ = 70 МПа, δ = 10% и Ψ = 35%. Додаткове легування кремнистої сталі, особливо хромом і ванадієм, після високого відпуску сильно підвищує основну характеристику пружинних сталей - границю пружності, але його максимальна величина, що може бути досягнута на різних кремнистих сталях в процесі відпуску (зазвичай при 300 - 350° С) складає 140 - 150 кгс/мм^2 і мало залежить від їх складу. Карбідоутворюючі елементи стабілізують структуру та субструктуру відпущеної сталі і тому сталі 60С2Х0,5 і 60С2Ф виявилися і більш релаксаційностійкими [15].

Також ефективно введення сильних карбідоутворюючих елементів, особливо ванадію, в сталь типу 55С2, 60С2, але зі збільшеним до 1 - 1,1% вмістом марганцю. Наприклад, сталь типу 55С2ГФ (з 0,1 - 0,25% V) має значно більшу прогартовуваність, меншу чутливість до зростання зерна і схильність до зневуглецювання, ніж сталь 55С2. Після гартування та відпуску при 450 °С, сталь 55С2Ф має більш високу границю пружності (на 30 - 40 кгс/мм^2) та більш високу втомну міцність (на 30%) у порівнянні зі сталлю 55С2 при цілком задовільній пластичності та в'язкості [16].

Сталі 60С2ХФА і 65С2ВА, що мають високу прогартовуваність, міцність та релаксаційну стійкість, застосовують для виготовлення великих високонавантажених пружин і ресор. Коли пружні елементи працюють в умовах сильних динамічних навантажень, застосовують сталь з нікелем 60С2Н2А.

Для виготовлення автомобільних ресор широко застосовують сталь 60ХГА, що за технологічними властивостями перевершує кремнисті сталі. Для клапанних пружин рекомендується сталь 60ХФА, що не схильна до перегріву і зневуглецювання. Однак ця сталь має малу прогартовуваність і може застосовуватися тільки для пружин з перерізом дроту, рівним або менше 5 - 6 мм. Для збільшення прогартовуваності сталь легують марганцем (50ХГФА), який знижує ударну в'язкість. Оптимальна твердість ресор для

отримання максимальної границі витривалості 42 - 48 HRC. При більш високій твердості границя витривалості знижується [17].

1.3 Особливості виробництва та термічної обробки пружин

1.3.1 Виготовлення

Виготовлення пружин з заготовок, що мають круглий перетин, може бути виконано шляхом холодної або гарячої навивки. Першим способом зазвичай виготовляють дрібні / середні пружини (з дроту до 8 мм в діаметрі), а другим - великі.

Крім того, відмінність обумовлюється застосуванням різних видів термічної обробки, що пов'язано з необхідністю надати виробам певні характеристики [18].

1.3.1.1 Технологія холодного навивання пружин без термообробки

Навивка заготовок виконується з дроту, яка заздалегідь була піддана патентуванню. Цей процес являє собою нагрів до температури, що перевищує інтервал перетворень, що відмінно готує матеріал для подальшої холодної пластичної деформації.

У сформованих навиванням заготовках забезпечуються відповідність таких обов'язкових параметрів, як:

- Діаметр (цей параметр може бути внутрішнім, середнім або зовнішнім);

- кількість передбачених витків (робочих і загальних);

- крок і розмір по висоті деталі, що виготовляється (враховуються зміни, можливі у результаті подальшої обробки);

- правильність виконання підтискання крайніх витків.

Наступний етап - механічна обробка (торцювання), в процесі якої кінцеві витки (неробочі) обробляються до утворення поверхні, перпендикулярній осі. Після цього проводиться термічна обробка - в даному випадку - тільки низькотемпературний відпуск. Це надає постійні пружні властивості і прибирає створені при навивці напруги. Важливим технологічних моментом є правильний вибір температури і часу впливу, орієнтуючись на діаметр обраного матеріалу і вимоги стандартів. Термооброблені пружини піддаються контролю і випробуванням на відповідність параметрів вимогам креслень [18, 19].

Якщо за вимогами експлуатації передбачено антикорозійне покриття, його нанесення стає останнім етапом виробництва таких деталей. Тільки в тому випадку, якщо застосовувалася гальваніка, деталі прогріваються для зневоднення [19].

1.3.1.2 Технологія холодного навивання пружин з термообробкою

Відмінність даної технології від описаної раніше починається тільки на етапі термічної обробки. Попередні дії: навивка і необхідна механічна обробка, виконуються так само.

Першим етапом термічної обробки є гартування: нагрів до певної температури (в залежності від матеріалу), витримка деталі протягом зазначеного часу і примусове (швидке) охолодження в спеціальному середовищі, в основному в маслі (іноді в воді, розчині солей, інших). Важливо: для нагріву пружин під гартування їх розташовують горизонтально, щоб уникнути просідання під власною вагою.

Завершується термообробка відпуском - прогрівом до порівняно невеликої температури і витримкою строго певний час для додання необхідних якостей [20].

Після цього проводиться контроль таких параметрів, як твердість, правильність стиснення/відновлення. Якщо передбачено технологією виготовлення конкретної деталі - застосовується піскоструйна обробка, зміцнення дробом, нанесення захисного покриття що запобігає корозії.

1.3.1.3 Технологія гарячої навивки пружин з термообробкою

Гаряча навивка має під собою попередній прогрів матеріалу в електричної або газової печі (можливий варіант - застосування струмів високої частоти).

Підготовлена таким чином заготовка піддається навивці згідно з вимогами техзавдання, розводці, а також торцовці і доведенні геометричних значень за допомогою інструментів. Після цього деталь подається на гартування, параметри якої визначаються матеріалом, а потім - на відпуск.

Після закінчення термообробки проводиться контроль параметрів і, якщо це необхідно, обтиснення, зневолення, інші додаткові операції і обробка поверхні. Завершується процес виробництва фарбуванням і сушінням [18].

1.3.1.4 Обладнання та оснастка

Для виготовлення пружин потрібно різне устаткування, яке найкраще відповідає вимогам кожного кроку технологічного процесу.

Навивка здійснюється або на спеціальних пружинонавивальних верстатах, або на переобладнаному для цих цілей токарному обладнанні. Можливо також використання ручної оснастки або спеціалізованих напівавтоматів. Подальша обробка - механічна - здійснюється торцешліфувальними верстатами, а термічна - в гартівних і відпускних печах. Важливо: для запобігання викривленню при термообробці використовуються спеціальні оправлення. Для деталей невеликого розміру вони застосовуються при відпуску, а великі проходять гартування на оправці.

Контроль якості також проводиться на спеціальному, призначеному саме для цього процесу обладнанні [19].

1.3.2 Термообробка

Виходячи з основним вимог до пружних елементів, основним видом їх термічної обробки є гартування з наступним середнім відпуском.

Гартування сталі - це процес термообробки, що полягає в нагріванні сталі до температури вище критичної з наступним швидким охолодженням. В результаті цієї операції підвищуються твердість і міцність сталі, а пластичність знижується. Після гартування сталь стає крихкою і твердою. Поверхневий шар виробів при нагріванні в термічних печах покривається окалиною і зневуглецьовується тим більше, чим вище температура нагріву і час витримки в печі. Режими гартування сталі залежать від її складу і технічних вимог до виробу. Температуру гартування обирають вище критичної точки A_{C3} для доевтектоїдних сталей та вище критичної точки A_{C1} для заевтектоїдних. Після гартування деталі швидко охолоджують. Таким чином, при гартуванні отримують структуру мартенситу без ділянок трооститу і з мінімальною кількістю залишкового аустеніту. Залишковий аустеніт має понижену границю пружності, а його можливе перетворення в

мартенсит викликає зниження релаксаційної стійкості та підвищує схильність до сповільненого руйнування. У зв'язку з цим після гартування іноді проводять обробку холодом. Необхідна швидкість охолодження забезпечується за допомогою вибору охолоджуючого середовища. При цьому надмірно швидке охолодження призводить до появи тріщин або короблення виробів.

Для запобігання окисленню та зневуглецюванню, гартування сталі виконується в середовищі аргону.

Ресорно-пружинні сталі відносяться до доевтектоїдного класу, отже температури гартування обираються на 30…50 ^{o}C вище лінії A_{C3}. Наприклад, для сталі 60С2А температура критичної точки A_{C3} дорівнює 820 ^{o}C, отже температура гартування буде складати 850 – 870 ^{o}C. Така температура достатня для забезпечення повного розчинення всіх структурних елементів в аустеніті. Гартування при нижчих температурах приводить до появи фериту у структурі загартованої сталі. Ферит є м’якою складовою, що значно знижує твердість, міцність і сильно підвищує пластичність, тому його наявність в структурі є небажаною. Гартування при завищених температурах також приводить до зниження твердості та міцності сталі через укрупнення зерна та утворення великої кількості залишкового аустеніту, що є небажаною складовою.

Витримка при температурі гартування забезпечує повне розчинення структурних складових в аустеніті. В основному, витримка при температурі гартування не перевищує 60 хвилин. Коротка витримка не забезпечує повного розчинення структурних компонентів, а надто висока – до зниження твердості загартованої сталі [20].

Після гартування вироби охолоджуються зі швидкістю вище за критичну для утворення структури мартенситу гартування. Потрібна швидкість охолодження забезпечується правильним вибором гартівного середовища. Для ресорно-пружинних сталей оптимальним варіантом буде використання масла. Гартування у воді приведе до сильного викривлення

виробів, а повітря не забезпечить необхідної швидкості охолодження, що приведе до утворення структури перліту [21].

Остаточні властивості визначаються умовами відпуску. Режими відпуску слід обирати з урахуванням призначення і умов навантаження пружних елементів в експлуатації. Для більшості пружин відпуск проводять при температурах, що забезпечують утворення структури трооститу відпуску (420 – 520 ^{o}C), що має високі значення границі пружності. Наприклад, відпуск сталі 65Г проводять при температурі 470 ^{o}C [22].

Висока границя пружності ресорно-пружинних сталей забезпечується тим, що троостит відпуску має дрібнозернисту структуру, тому режим відпуску повинен бути суворо регламентований по температурі та тривалості. Перегрівання при відпуску приведе до значного зниження твердості за втраті пружних властивостей через укрупнення зерен. Недогрівання, навпаки, призведе до отримання надмірно високої твердості, і, як наслідок, високої крихкості виробів через те, що в структурі залишиться мартенсит відпуску [20.

Витримка при відпуску, зазвичай, приймається в межах 2-3 годин. Це потрібно для того, щоб мартенсит гартування та залишковий аустеніт, що утворився при гартуванні, повністю перетворився на троостит відпуску. Недотримання режиму відпуску призведе до неповного перетворення структури при короткій витримці та до укрупнення зерна при надмірно довгій. Обидва фактори призводять до погіршення пружних властивостей.

Охолодження після відпуску проводять на повітрі, що забезпечує мінімальне викривлення виробів [22].

Режими термічної обробки та механічні властивості найпоширеніших видів ресорно-пружинних сталей вказані у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Режими термічної обробки і механічні властивості (мінімальні) ресорно-пружинних сталей загального призначення [23]

Марка сталі	Критичні точки, °С		Режими гартування та відпуску			Механічні властивості			
	Ac_1	Ac_3	$T_{зак}$, °С	Гартівне середовище	$T_{отп}$, °С	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ, %	ψ, %
65	727	782	830	масло	480	800	1000	10	35
85	730	-	820	масло	480	1000	1150	8	30
65Г	-	-	830	масло	470	800	1000	8	30
50С2	-	-	870	масло	460	1100	1200	6	20
55С2	775	840	870	масло	460	1200	1300	6	30
60С2	750	820	870	масло	470	1200	1300	6	25
50ХГ	750	775	850	масло	470	1200	1300	7	35
50ХГР	750	790	850	масло	470	1200	1300	7	35
50ХФА	-	-	850	масло	470	1100	1300	8	35
60С2Н2А	-	-	880	масло	420	1600	1750	6	20
60С2ХФА	-	-	850	масло	410	1700	1900	5	20
65С2ВА	-	-	850	масло	420	1700	1900	5	20
70С3А	-	-	860	масло	460	1600	1800	6	20

Для попередження поверхневого окислення і зневуглецювання нагрівання пружин, особливо малої товщини, слід проводитять в захисній атмосфері або вакуумі. Нагрівання в соляних ваннах забезпечує отримання чистої поверхні, але може викликати поверхневі ушкодження, що знижують втомну міцність, що неприпустимо для пружин відповідального призначення.

При виконанні гартування і відпуску пружин передбачають заходи по зменшенню їх деформації. Подальша правка пружних елементів небажана, тому що викликає появу залишкових напружень і погіршення властивостей [21].

Заходи по зменшенню деформації розробляються відповідно до конкретних видів і типорозмірів пружин. При термообробці можна використовувати такі прийоми, як рівномірну укладку пружин в піч;

пристосування, що фіксують форму і розміри пружин при нагріванні і охолодженні (рис. 1.4); відпуск на оправках. Ефективним засобом зменшення деформації є ізотермічне гартування.

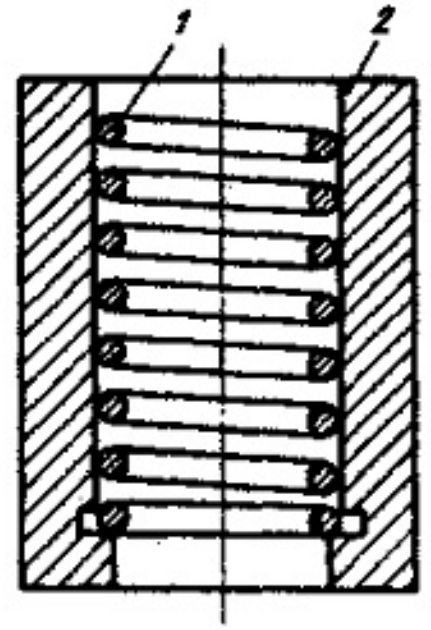


Рисунок 1.4 - Пристосування для гартування пружин стиснення [22]:
1 – пружина; 2 – оправка

Для пружин, що працюють в умовах динамічного навантаження, для яких виникнення раптових або уповільнених руйнувань особливо небезпечно, визначального значення для вибору режиму відпуску набуває також рівень пластичності і опір крихкому руйнуванню. У зв'язку з цим температура відпуску підвищується вище тієї, яка відповідає найбільшій границі пружності [23].

Більш високі границі пружності, в'язкості і втомна міцність досягаються при ізотермічному гартуванні пружинних сталей з отриманням структури нижнього бейніту, що пояснюється іншою субструктурою, в якій відсутній двійнікованний мартенсит. Додатковий відпуск цих сталей при температурах, близьких до температури утворення нижнього бейніту ще більшою мірою підвищує пружинні властивості сталей. Зазначений процес називається подвійним ізотермічним гартуванням. Слід зазначити, що

присутність верхнього бейніту неприпустимо, так як погіршує весь комплекс властивостей [22].

Шляхом легування можна підвищити температуру відпуску (вище інтервалу розвитку незворотної відпускної крихкості), що дозволяє поряд з високим опором малим пластичним деформаціям отримати добрі пластичність та в'язкість.

1.4 Методи підвищення експлуатаційних властивостей пружин

Одним з методів підвищення властивостей пружин є зневолення. Цей метод полягає в стисканні пружини навантаженням, що перевищує робоче навантаження і обраній з таким розрахунком, щоб напруги зсуву в крайніх волокнах витків перевищили границю плинності і на цих ділянках з’явились залишкові деформації (рис. 1.5, I). Пружину витримують під зневольнюючим навантаженням протягом 36 - 48 год, після чого навантаження знімають.

Пружна віддача серцевини витків, яка не піддалася залишковим деформаціям, створює в деформованих шарах напруги зсуву, зворотні за знаком робочим напруженням (рис. 1.5, II). У самій серцевині виникають незначні реактивні напруги, за знаком однакові з робочими напругами.

Якщо прикласти до пружини робоче навантаження (рис. 1.5, III), то в результаті складання робочих напруг з попередньо створеними напруженнями зсуву напруги в крайніх волокнах будуть істотно меншими за ті, які виникли б у пружині, що не піддається зневоленню (рис. 1.5, IV). Реактивні напруги в серцевині, додаючись до робочих напруг, створюють сумарні напруги, які трохи більше напруги, що виникає в пружині, що не піддається зневоленню [23].

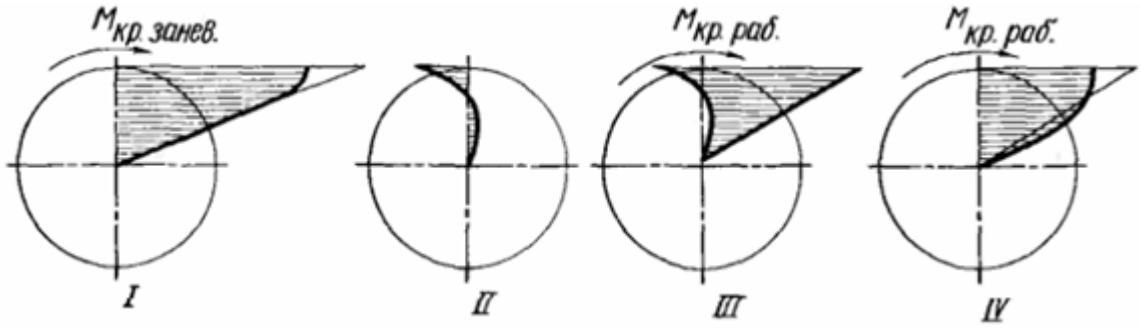


Рисунок 1.5 – Епюри напружень зсуву в перетині витка заневоленої пружини [24]

В результаті перетин витків виявляється напруженим більш рівномірно, матеріал витків використовується краще; пік напружень на окружності витків зменшується. Інакше кажучи, пружина зміцнюється. У разі рівного розподілу навантажень максимальні напруги в пружині виходять меншими, ніж в пружині, що не піддається зневоленню; за однакової кількості максимальних робочих напружень пружина може нести більш високе навантаження, ніж пружина, що не піддавалась зневоленню.

Зневоленню піддають тільки пружини, що працюють при статичних навантаженнях або при періодичних динамічних навантаженнях з обмеженим загальним числом циклів. Пружини, що працюють при високочастотних циклічних навантаженнях великої тривалості, не піддають зневоленню через те, що резонансні коливання, що виникають при цих умовах, можуть створити в таких пружинах підвищені напруги [25].

Створення поблизу поверхні залишкових стискаючих напружень дозволяє збільшувати граничні амплітуди напруження в поверхневому шарі пружини без ризику її передчасного руйнування. Змінюючи залишкові напруження стиснення і глибину зміцнення, можна отримати різний розподіл границь витривалості з підвищенням їх поблизу поверхні. Великий вплив на міцність пружин в цілому надає якість внутрішнього шару (серцевини), тому поряд зі зміцненням поверхневого шару необхідно прагнути до високої міцності вихідного матеріалу; він повинен бути правильно обраний і правильно термічно оброблений [26].

Одним з найбільш поширених технологічних методів створення напружень в поверхневих шарах пружин є дробеметний наклеп. Він застосовується для пружин, що працюють при циклічних навантаженнях, в тому числі і ударних. Сутність цього процесу полягає в тому, що деталь, що пройшла механічну і термічну обробки, поміщається в камеру дробоструменевої установки, де піддається численним ударам окремих дробинок, що рухаються з великою швидкістю. Глибина наклепу зазначеним способом зазвичай не перевищує 1 мм і зростає зі збільшенням діаметра дробу і її швидкості і зменшується зі збільшенням твердості деталі, що оброблюється. У поєднанні зі зневоленням його ефективність значно зростає [27].

Також добре себе зарекомендував напружений наклеп, тобто обробка дробом пружин в навантаженої стані.

Гідроабразивна обробка теж є перспективним методом підвищення несучої здатності пружин. Її перевагою є виключення температурного випливу, що виникає при численних ударах дробинок за рахунок використання води. Таким чином, виключається можливість часткової рекристалізації, що підвищує ступінь наклепу та величину напружень стиснення.

Підвищити границю втомної міцності також можна за допомогою азотування - насичення поверхневих шарів пружин атомами азоту. В результаті в поверхневих шарах виникає напруження стиснення, що підвищує межу втоми пружин.

Для поліпшення властивостей ресорно-пружинної сталі також застосовують термомеханічну обробку [28].

При високотемпературній термомеханічній обробці (ВТМО) ресорних сталей температуру аустенітизації приймають на 100 – 150 °С вище Ac_3, ступінь деформації 25 - 60% при одночасному стисненні і до 70% при дробовій деформації. Оптимальні режими ВТМО обирають емпірично для кожного виробу. В результаті ВТМО досягається зростання статичної і

втомної (в тому числі і малоциклової) міцності, опору руйнуванню, пластичності і ударної в'язкості; зниження температури порогу холодноламкості, усунення оборотної відпускної крихкості і зменшення водневої крихкості при нанесенні гальванічного антикорозійного покриття.

Підвищення комплексу властивостей при ВТМО встановлено для широкого кола пружинних сталей з різним ступенем легування: кремнистих (55С2, 60С2), хромомарганцевих (50ХГА), сталей марок 50ХФА, 45ХН2МФА та ін. Найбільша ефективність від ВТМО досягнута на сталях, що містять карбідоутворюючі елементи - хром, ванадій, молібден, цирконій, ніобій і т. п. (сталі марок 50ХМФ, 50Х5СМЗФ і ін.).

При ВТМО можливе використання різних схем деформації (прокаткою, волочінням, екструзією, штампуванням), але з огляду на анізотропію зміцнення необхідно, щоб напрямок, в якому досягнуто максимальне зміцнення збігалося з напрямком дії максимальних напружень при експлуатації, тобто схеми головних напружень при ВТМО і в експлуатації повинні бути близькі.

Важливою перевагою ВТМО, що розширює сферу її застосування, є успадкування субструктури, створеної цією обробкою, навіть після повторного гартування.

Застосування холодної пластичної деформації після ВТМО є дуже перспективним методом підвищення властивостей пружин.

В результаті остаточного відпуску при 250 °С зберігаються міцність сталі і підвищується її пластичність.

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) дозволяє отримати високий комплекс пружинних властивостей на вуглецевих (У7А) і легованих сталях (70С2ХА і ін.), що пов'язано як із наслідуванням мартенситом дислокаційної структури деформованого аустеніту, так і з розвитком бейнітного перетворення в процесі пластичної деформації. Найбільш сильно після НТМО зростає границя пружності. Ефект зміцнення

при НТМО, як правило вище, ніж при ВТМО. З точки зору практичного виконання НТМО є більш складною обробкою.

Властивості сталі після НТМО, особливо границя пружності і релаксаційна стійкість, можуть бути підвищені в ще більшому ступені шляхом холодної пластичної деформації з обтисненням 10% і старіння.

Стабільність субструктури і стійкість зміцнення при нагріванні сталі після НТМО значно менше, ніж після ВТМО. Повторне гартування майже повністю знімає ефект НТМО.

Недоліком НТМО є те, що зростання зміцнення часто супроводжується зниженням пластичності, підвищенням чутливості до концентраторів напружень.

1.5 Мета та постановка завдання роботи

Розглянуто умови експлуатації, основні характеристики, види термообробки та причини відмов пружин автомобіля. Найбільш розповсюдженою причиною руйнування пружин є втомне руйнування. Існує багато способів підвищення опору втомі, найдоступнішими з яких є регулювання параметрів термообробки та використання поверхневої пластичної деформації (ППД), наприклад, дробоструминного наклепу. ППД створює поблизу поверхні залишкові стискаючі напруження, що дозволяє збільшувати граничні амплітуди напруження в поверхневому шарі пружини без ризику її передчасного руйнування.

Метою роботи є підвищення експлуатаційних властивостей пружин автомобіля шляхом регулювання параметрів термообробки та за допомогою поверхневого пластичного деформування.

Згідно цьому задачами роботи є:

- визначити особливості технологічного процесу термічної обробки пружин автомобіля;

- визначити особливості технології виготовлення циліндричних пружин;

- встановити вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин;

- дослідити можливість підвищення витривалості пружин методами поверхневого пластичного деформування;

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали та технологія їх отримання

Для дослідження впливу цементації та нітроцементації на зносостійкість деталей було обрано конструкційну ресорно-пружинну сталь 60С2А ГОСТ 1459-79. Хімічний склад сталі (масова частка елементів, %): C – 0,58…0,63; Si – 1,6…2; Mn – 0,6…0,9; Ni – до 0,25; S – до 0,025; P – до 0,025.

Виплавлення сталі виконували у відкритій індукційній печі. Температура розливання знаходилась в межах 1520 – 1560 ^{o}C. Розкислення проводили марганцем.

2.2 Дослідження механічних властивостей

Твердість сплаву визначали по Роквеллу на приладі ТК-2. Якщо величина твердості не перевищувала HRB 100, то індентором слугувала сталева кулька і використовувалась шкала В (HRB). При твердості більше 100 HRB переходили до вимірювання за шкалою С з використанням алмазного конуса як індентора (HRC). Переведення чисел твердості до єдиної шкали здійснювався за стандартною таблицею(HRB 100 відповідає HRC 20).

Визначення границі витривалості проводили за допомогою випробувальної машини МУИ-6000. Технічні характеристики якої вказані в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Метрологічні та технічні характеристики випробувальної машини МУИ-6000

Діапазон навантажень на дослідному зразку, Н	10 - 1000
Максимальний момент згину, Нм	5
Максимальна частота обертання, об/хв	6000
Допустима похибка машини при перевірці статичним методом від вимірюваного зусилля, %, не більше	2
Загальна споживальна потужність, кВт, не більше	0,75
Габаритні розміри, мм, не більше	Ширина 815 / Довжина 400 / Висота 1290
Маса машини, кг, не більше	302
Маса приладдя, кг, не більше	28

Границя витривалості матеріалу визналась шляхом випробування ідентичних зразків при різних значеннях σ_{max}, при незмінному коефіцієнті асиметрії Р і реєстрації кількості циклів, при якому відбувається руйнування кожного зразка. Для цієї мети використовувалась партія зразків круглого перетину діаметром 10 мм в кількості 10 штук. Для того, щоб уникнути концентрації напружень зразкам надавалася плавна форма, а поверхня ретельно шліфувати (рис. 2.1).

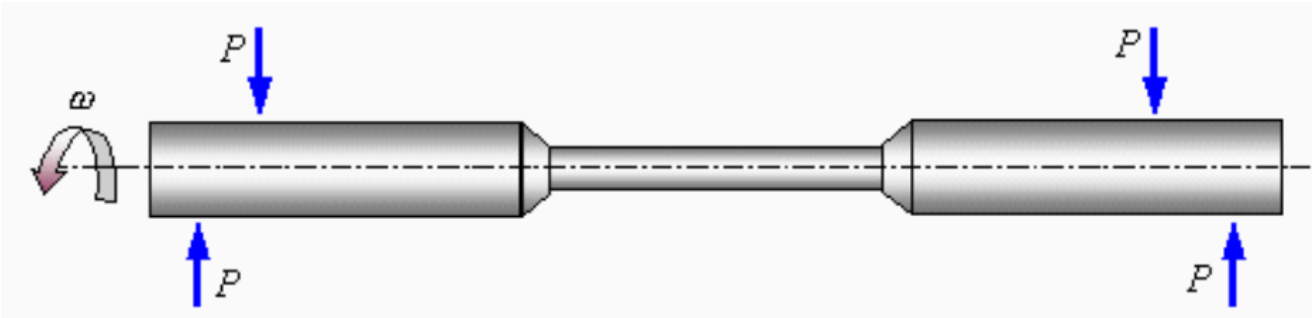


Рисунок 2.1 – Зразок для випробувань на витривалість

Перший зразок партії, що випробовувався навантажувався так, щоб максимальні напруження перевищували границю витривалості при даному

коефіцієнті асиметрії циклу, і за лічильником на машині, встановлювалась кількість циклів, який витримав зразок перед руйнуванням.

В кожному наступному зразку при тому ж коефіцієнті асиметрії циклу створювалося максимальне напруження, менше, ніж в попередньому, а також реєструвалося число N циклів, при якому ці зразки руйнуються.

Результати випробувань представлені графічно у вигляді кривої втоми. По осі ординат відкладалося σ_{max} - максимальне напруження циклу, при якому випробовувався зразок, а по осі абсцис - число N циклів, яке витримав зразок перед руйнуванням.

На кожному рівні напружень σ_{max} випробувалось кілька зразків, і за результатами випробувань визначалося середнє значення руйнівного числа циклів, яке відкладалося по осі абсцис при побудові кривих втоми.

Границя витривалості визначалась на базі кількості циклів $N = 10^7$.

Зразки для випробувань на витривалість піддавались термічній обробці за визначеними режимами (табл. 2.2)

Таблиця 2.2 – Режими термічної обробки зразків

Варіант	Режим термічної обробки
1	Гартування 870 °С, масло, відпуск 480 °С, повітря
2	Гартування 970 °С, масло, відпуск 480 °С, повітря
3	Ізотермічне гартування 330 °С, масло, відпуск 300 °С, повітря

Для визначення інтенсивності дробоструминного наклепу використовувався метод Альмена, що дозволяє здійснити визначення величини залишкових напружень після механічної обробки за допомогою вимірювання величини прогину металевого зразка-свідка, що називається тестовою пластиною Альмена.

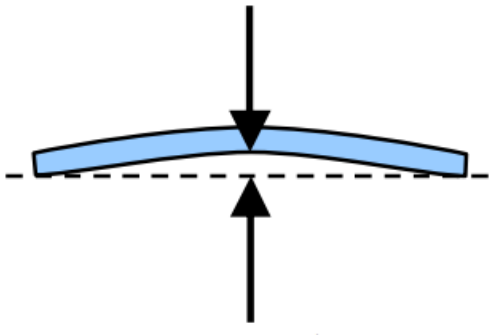
Для контролю інтенсивності поверхневого зміцнення, використовувались стандартизовані плоскі вимірювальні пластини Альмена типу «А», товщиною 1,29 ± 0,025 мм. Контрольна пластина виготовлена з

листової сталі SAE1070 (аналог сталі 70). В якості параметра, що визначає інтенсивність, приймалась величина прогину обробленої з одного боку пластини. Випробування зразків на витривалість проводились після обробки при наступних інтенсивностях (за зростанням): 6А, 12А, 17А, 22А.

Контрольний зразок закріплювався в камері обдування на еталонній підставці (рис. 2.2, а) і піддавався зміцненню при тих же умовах, що і робоча деталь. Після видалення з еталонної підставки контрольний зразок згинається в результаті прояву стискаючих залишкових напружень і пластичного деформування поверхні (рис. 2, б). Після зняття пластини з підставки, величину прогину («стріли Альмена») вимірювали датчиком, який показує рівень залишкових напружень.

В якості матеріалу для дробоструминного наклепу використовувались стальці кульки діаметром 1 мм.

а



б

Рисунок 2 – Тестова пластина Альмена:

а) загальний вид пластини; б) згинаючи напруження

2.3 Дослідження мікроструктури

Для металографічного дослідження мікроструктури використовувалось хімічне травлення мікрошліфів в реактиві Марбле (100мл HCl + 20г $CuSO_4$ + + 100мл H_2O) і електролітичне в реактиві: 9,8 гр сірчаної кислоти, 16 гр повареної солі , 5,4 гр заліза, решта (до 100 гр) вода; густина струму складала 0,1 - 0,3 А/см^2. Зразки сплаву в литому стані та після повної термічної обробки потребували для виявлення мікроструктури витримки в реактиві 8 – 10 с, після гартування – 150 – 170 с. Після цього зразки промивали у воді та сушили фільтрувальним папером. Металографічні дослідження проводили на мікроскопі «NEOPHOT 21» при 200 – та 1000 – кратному збільшенні.

Електронно – мікроскопічне дослідження сплаву проводилось на просвічувальному електронному мікроскопі ЭМВ – 100Л з використанням вуглецевих екстракційних реплік. Травлення зразків для виготовлення реплік здійснювалось таким же чином, як і для металографічного дослідження.

Протравлені зразки напилювали в устаткуванні НВА 120/2 шляхом безпосереднього осадження випареного вуглецю в вакуумі на поверхню зразка. Для електролітичного відокремлення реплік використовували спиртовий розчин азотної кислоти (10 - відсотковий розчин). Щільність струму складала 0,5 А/см^2. Відокремлені репліки промивались в дистильованій воді. Після промивання репліки розміщувались на мідній дрібнокомірчастій сітці діаметром 3 мм. Електронно – мікроскопічне дослідження проводилось при збільшеннях 10000 та 20000 крат.

3 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРУЖИН

Пружина - деталь загального призначення, повинна мати наскрізну прогартовуваність, оскільки назнає напружень стиснення.

Пружини зазнають при роботі багаторазових знакозмінних навантажень і після їх зняття повинні повністю відновлювати свої первинні розміри. У зв'язку з такими умовами роботи метал, який використовується для виготовлення пружин, повинен мати, окрім необхідної міцності в умовах статичного, динамічного або циклічного навантаження, досить хорошою пластичністю, високими границями пружності і витривалості, а також високою релаксаційною стійкістю.

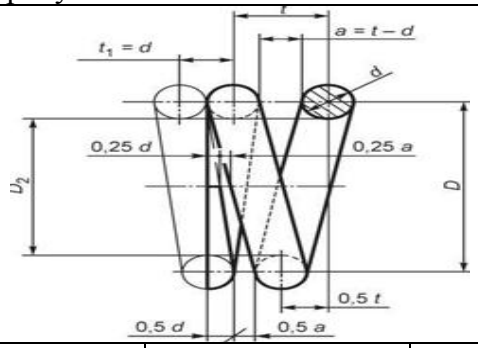
Не менш важливі для металу пружин також технологічні властивості: мала схильність до зростання зерна і зневуглецювання в процесі термічної обробки, глибока прогартовуваність, низька критична швидкість, мала чутливість до відпускної крихкості.

Кращі властивості (максимальні межі пружності і витривалості) пружини і амортизатори мають при твердості HRC 40 - 45 (структура - троостит), яка досягається після гартування (з рівномірним і повним мартенситним перетворенням по всьому об'єму металу) і середнього відпуску при 400 - 500 °С (в залежності від сталі).

3.1 Технологічний процес термічної обробки пружин

Типова карта технологічного процесу основної термічної обробки пружин показана в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Карта технологічного процесу основної термічної обробки регулювального кільця зі сталі 60С2А

Ескіз виробу				Технічні вимоги		
				Матеріал	Твердість	Структура
				60С2А	45,5 – 49,5 HRC	$T_{відп}$
№	Назва операції	Прилади, інструменти, обладнання	Умови нагрівання	Умови охолодження	Пристосування	Умови контролю
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вхідний контроль	Штангенциркуль (ШЦЦ-ІІІ-300-0,01)	–	–	–	Матеріал, стан поверхні, розміри, геометрія,
2.	Промивання	ММТ Термометр ТН-7	–	–	Корзина Прилад для загрузки	Вода t ≥ 90°С 5-кратне окунання в воду
3.	Промивання	ММТ Термометр ТН-7	–	–	Корзина Прилад для загрузки	Вода t = 20-30°С 3..5-кратне окунання в воду
4.	Візуальний огляд	–	–	–	–	Матеріал, стан поверхні, розміри, геометрія, герметичність муфеля
5. 5.1	Гартування Нагрівання	СНЗ 4.8.2/9 Потенціометр КСП-04 (0...1300) кл. точності 0,5 Ротаметр РМ-0,63 ГУЗ	$t_{ВП}$ = 20°С $t_{ВК}$ = 870±10°С $\tau_н$ = 32,64 хв. Ендогаз Витрати: 3…4 л/хв.	–	Піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
5.2	Витримка	СНЗ 4.8.2/9 Потенціометр КСП-04 (0...1300) кл. точності 0,5 Ротаметр РМ-0,63 ГУЗ	$t_{ВК}$ = 870±10°С $\tau_в$ = 60 хв Ендогаз Витрати: 3…4 л/хв.	–	Піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7
5.3	Охолодження	Гартівний бак Термометр ТН-7 Годинник	–	Масло індустріальне И-20А t = 20-70°С $\tau_{ох}$ = 0,28 хв.	Корзина	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
6.	Промивання	ММТ Термометр ТН-7	–	–	Корзина	Мийний розчин (Полімос-Д у воді (30…50 г/л) t = 60…90°С τ = 25…35 хв
7.	Промивання	ММТ Термометр ТН-7	–	–	Корзина Прилад для загрузки	Вода t ≥ 90°С 5-кратне окунання в воду
8.	Промивання	ММТ Термометр ТН-7	–	–	Корзина Прилад для загрузки	Вода t = 20-30°С 3..5-кратне окунання в воду
9. 9.1	Відпуск Нагрівання	СНЗ 4.8.2/6 Потенціометр КСП-04 (0...900) кл. точності 0,5 Ротаметр РМ-0,63 ГУЗ	$t_{ВП}$ = 20°С $t_{ВК}$ = 420 °С $\tau_{н}$ = 73,1 хв Ендогаз Витрати: 3…4 л/хв	–	Піддон Прилад для загрузки/ вигрузки	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
9.2	Витримка	СНЗ 4.8.2/6 Потенціометр КСП-04 (0...900) кл. точності 0,5 Ротаметр РМ-0,63 ГУЗ	$t_{ВК}$ = 420 °С $\tau_{В}$ = 120 хв Ендогаз Витрати: 3…4 л/хв	–	Піддон	Контроль температури, часу, середовища, його складу та витрати
9.3	Охолодження	–	–	Повітря $\tau_{ох}$ = 1,3 хв	Прилад для загрузки/ вигрузки	Контроль температури, часу
10.	Контроль вихідний	Твердомір ТШ-2М	–	–	–	Контроль твердості, режим, стан поверхі

Попередня термічна обробка (повний відпал) полягає в нагріванні сталі на 30 - 50 ^{o}С вище верхньої критичної точки для повного перетворення структури сталі в аустеніт і надалі повільному охолодженні до 500 - 600 ^{o}С

для утворення фериту і перліту. Швидкість охолодження близько 50 - 100 ^{o}C / год.

Для гартування партію пружин укладають і закріплюють на дні сітчастого металевого кошика. Пружини заздалегідь підігрівають, якщо цього вимагає технологія обробки сталі, потім поміщають в піч, нагріту до заданої температури і витримують при цій температурі до повного прогрівання металу по всьому перетину. Тривалість витримки залежить від розміру перетину деталі і марки стали. Після цього деталь охолоджується в гартівному середовищі. Для попередження викривлення при нагріванні під гартування пружини стиснення перед термічною обробкою скріплюють м'яким сталевим дротом, поєднуючи торцеві (неробочі) витки з робочими витками. Для попередження викривлень та перекручень форми пружини застосовують пристосування (рис. 3.1), А також прості швелерні балки.

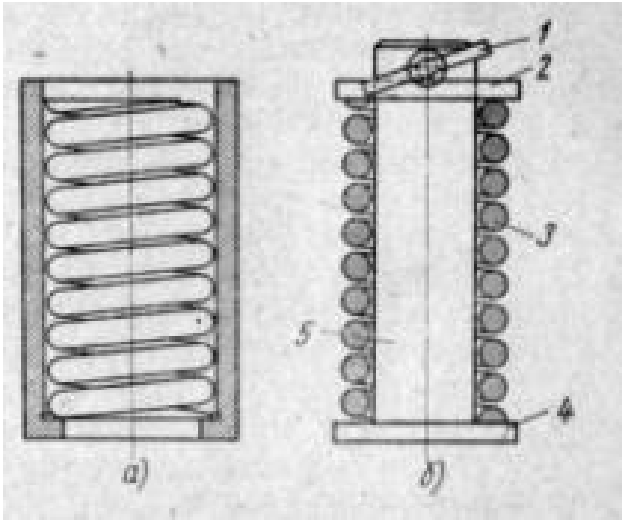


Рис. 3.1Пристосування для термічної обробки пружин

а - з посадкою пружини в стакан; б - з посадкою пружини на оправу; 1 - обмежувач; 2 - знімний верхній опорний майданчик; 3 - пружина; 4 - нижній опорний майданчик; 5 – оправа

Гартівними середовищами для пружинних сталей можуть бути масло, вода, повітря і ін. Рідке гартівне середовища поміщається в спеціальний бак, який має систему охолодження для регулювання його температури . При

гартуванні у воді відбувається дуже різке охолодження, яке сприяє утворенню тріщин в матеріалі пружин. Для того, щоб зменшити швидкість охолодження в воду додають різні домішки (вапно, мило, крейду тощо.).

Масло є найпоширенішим середовищем для гартування. Її застосування забезпечує виготовлення пружин хорошої якості з найменшим браком по термічній обробці.

Все гартівні середовища мають різну теплопровідність, і найбільш нагріті шари середовища знаходяться у верхній частині гартівного баку. Для того, щоб температура середовища була рівномірна по всьому об'єму, через неї за допомогою спеціальної трубки продувають стисле повітря.

Для підвищення в'язкості і усунення внутрішніх напружень всі пружини після гартування піддають середньому відпуску. При цьому найбільший інтервал між гартуванням і відпуском допускається не більше 4 години. Після нагріву деталі охолоджують на повітрі в закритому приміщенні.

Термічна обробка пружин (рис. 3.2) Зменшує залишкові деформації за рахунок зменшення внутрішньої напруги, збільшує пружні властивості і в'язкість, завдяки чому забезпечуються високу якість і надійна робота.

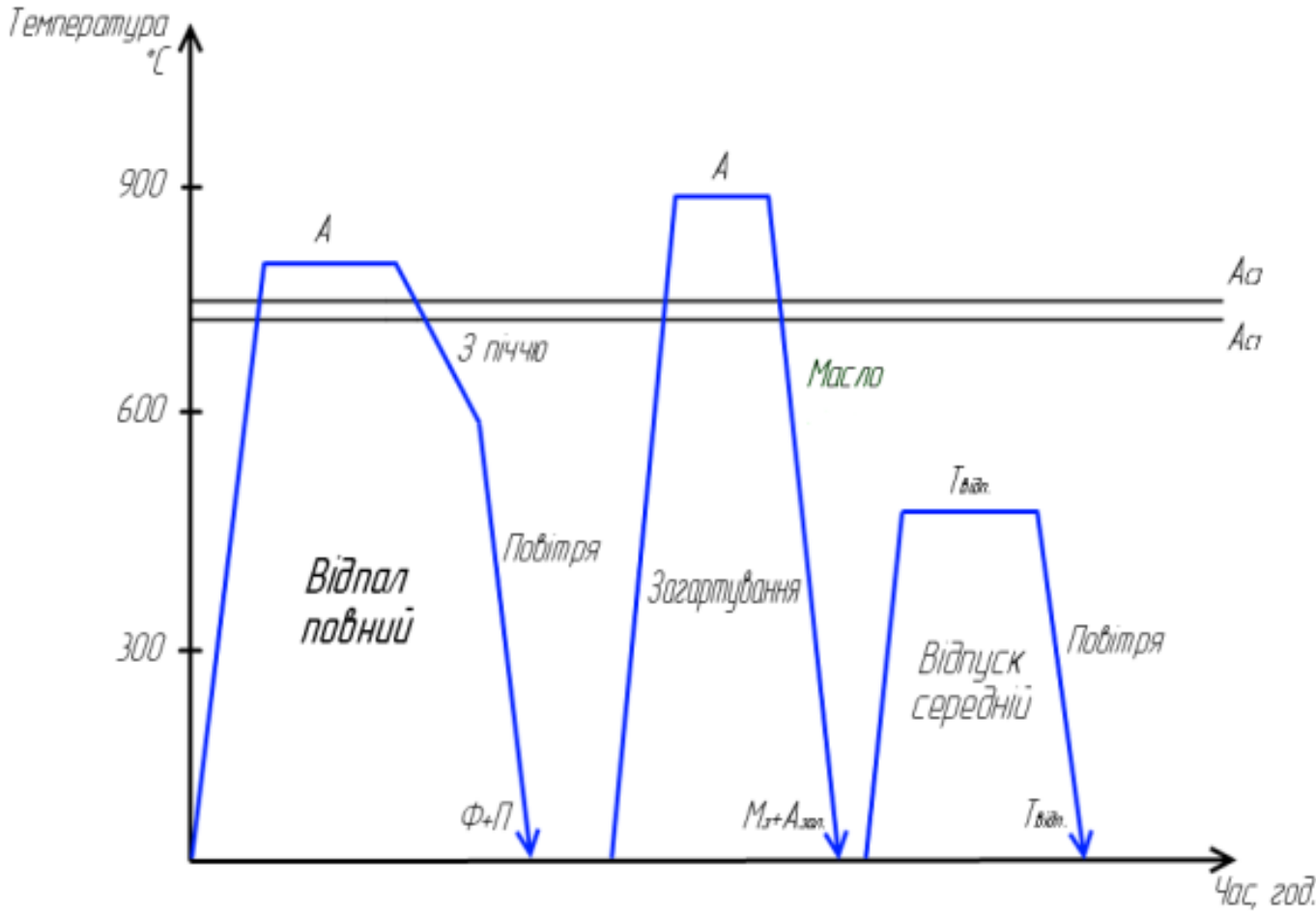


Рисунок 3.2 -Режим термічної обробки стали 60С2А

Отримана після термообробки структура троостит відпуску (рис. 3.3) Характеризується дрібнодисперсною структурою, яка забезпечує пружинні властивості стали і велику витривалість при циклічних навантаженнях.

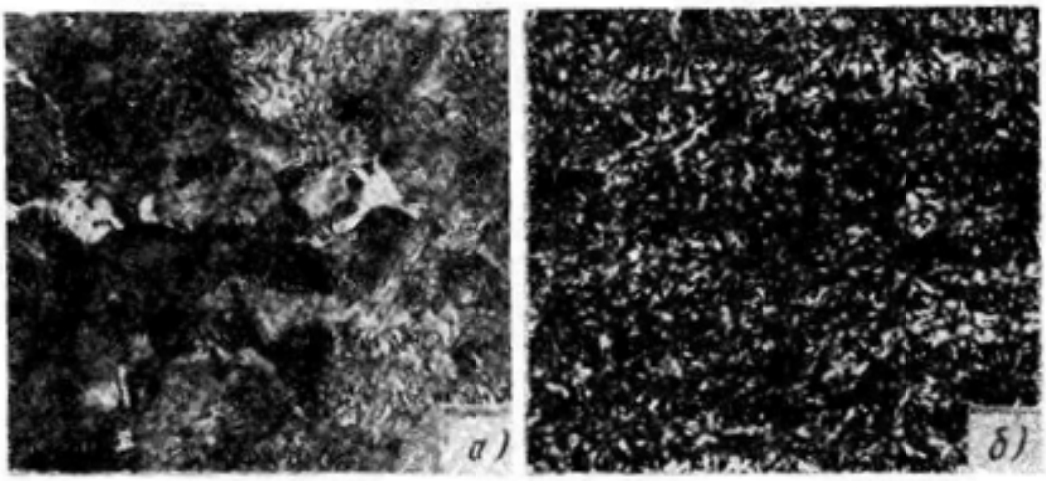


Рисунок 3.3 -Мікроструктура стали 60С2А, травлення 4% -им спиртовим розчином азотної кислоти (х500):

а - у відпаленому стані - ферит + перліт; б - після гартування і відпуску, структура троостит

3.2 Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів

При будь-якому виді контролю необхідно давати оцінку результатам контролю і приймати рішення. У випадку повної впевненості вірності проведення випробувань та при отриманні даних, які задовольняють усім вимогам технічних умов, приймається рішення щодо відповідності даної партії металу для виготовлення тих чи інших деталей.

3.2.1 Вхідний контроль

Вхідний контроль дозволяє вирішувати наступні задачі:

- визначати відповідність металу вимогам стандартів чи технічних умов;

- виявляти дефекти в металі, їх характер, встановлювати ступінь ураження металу дефектами;

- попереджувати попадання дефектного металу у виробництво.

Використовують наступні види вхідного контролю:

- візуальний огляд без чи з використанням збільшувальних приладів;
- аналіз хімічного складу;
- визначення механічних властивостей;
- аналіз мікро - та макроструктури.

Якщо при вхідному контролі виявляється невідповідність партії металу технічним вимогам по одному або декільком показникам якості, то цей метал повинен повертатись поставникам з накладанням штрафних санкцій в установленому порядку.

Але в деяких випадках приймається інше рішення – використати „невідповідний” метал за прямим призначенням, але з сортуванням чи виправленням дефекту. При цьому якість деталей не повинна погіршуватись.

При визначенні хімічного складу повинні виконуватись вимоги ГОСТ 7565-81. Якщо при вхідному контролі буде розходження з даними сертифікату, то цим результатам повинна бути дана відповідна оцінка з урахуванням впливу даного відхилення на усі стадії технологічного процесу виготовлення деталі і її якість.

Якість поверхні впливає на якість готових деталей. Під якістю поверхні розуміють механічний та фізико-хімічний стан поверхневих шарів металу. В реальних умовах виробництва неможливо отримати ідеальну

поверхню, можна лише казати про деякий ступінь приближення якості поверхні до необхідних показників, оскільки завжди існують допустимі стандартами відхилення.

В зв’язку з цим, даючи оцінку якості поверхні литих заготовок, слід перш за все враховувати їх призначення та технологію виготовлення з них деталей.

Більшість стандартів встановлюють загальні вимоги до мікроструктури металу, що включає наступні: макроструктура сталі при перевірці на протравлених темплетах чи в зламі не повинна мати усадочної раковини, рихлості, пухирів, тріщин, розшарувань, шлакових включень та флокенів. Перераховані дефекти пов’язані з умовами виплавки та розливу сплавів. Їх відсутність повинна забезпечуватись дотриманням встановленої технології виробництва сплавів. Також маємо ряд показників якості макроструктури, зв’язаних з процесом кристалізації рідких сплавів (пористість, неоднорідність, ліквація і т.і.), на які держстандарти встановлюють відповідний рівень.

В деяких випадках стандарти встановлюють вимоги до мікроструктури сплавів в стані постачання. Це пов’язано з необхідністю забезпечення технологічності сплавів при виготовленні з них деталей у користувача, а в деяких випадках із забезпеченням необхідної надійності та довговічності деталей.

3.2.2 Технологічний контроль

При всіх режимах термічної обробки необхідно виконувати технологічний контроль, який включає: обов’язковий контроль температури та часу витримки при всіх видах термічної обробки.

Технічний контроль повинен передбачати не лише перевірку якості термічної обробки виробів, але й контроль дотримування технологічних параметрів процесів на всіх стадіях перероблення. Необхідно ретельно розробляти засоби контролю, а також визначати періодичність його здійснення.

Під час контролю температурних режимів за допомогою спеціальних приладів, необхідно позначити інтервал часу, через який здійснюється фіксація показників цих приладів. Періодичному контролю також підлягає порядок розташування виробів при їх завантаженні, рівномірність прогрівання садки, якість ізоляції, склад атмосфери тощо.

Контроль якості продукції в термічному цеху має дуже важливе значення. Добре організований і правильно проведений контроль сприяє підвищенню якості продукції, поліпшенню технології виготовлення деталей, виявленню причин браку. Технологічний контроль продукції проводиться працівниками відділу технічного контролю і заводської лабораторії. У термічному цеху здійснюється поточний контроль якості оброблюваної продукції.

Основними моментами контролю якості виробу є:

- огляд деталей після їх повного чи часткового очищення від окалини з метою виявлення зовнішніх пороків (тріщин, полон), недоліків обробки поверхні;
- перевірка механічних властивостей деталей, передбачених державними стандартами і технічними умовами;
- контроль макро – і мікроструктури металу;
- контроль якості деталей з метою виявлення тріщин, раковин і інших недоліків, не помітних при зовнішньому огляді.

У термічних цехах для виявлення дефектів у деталях без руйнування найбільш широко використовуються такі методи неруйнівного контролю:

просвічування рентгенівськими і гамма-променями.

Рентгенівський метод просвічування заснований на здатності рентгенівських променів неоднаково поглинатися при проходженні через різні речовини. У випадку просвічування рентгенівськими променями металу порожнечі і дефекти відзначаються на фотознімку у вигляді чорних плям.

Метод просвічування гамма-променями доцільно застосовувати для виявлення дефектів в деталях. Радіоактивні речовини в наслідок перетворень в атомному ядрі безупинно випромінюють значну енергію у виді α-частинок (ядер гелію), β-частинок (швидких електронів) і γ- променів. Гамма-промені мають більш проникаючу здатність, ніж рентгенівські.

Наявність в виробах тріщин, раковин, пухирів, визначають за допомогою таких методів неруйнівного контролю:

1. Індукційний (заснований на порушенні і реєстрації вихрових струмів). Порушуванні у виробі вихрові струми діють на електромагнітне поле, змінюючи електрорушійну силу, наведену у вимірювальній обмотці. Результати контролю виробу залежать від його властивостей і розмірів, параметрів котушок перетворювача.

2. Електромагнітний акустичний метод. Він являє собою комбінацію методів вихрових струмів і ультразвукового. В результаті взаємодії вихрових струмів із зовнішнім магнітним полем виникають механічні напруги, що викликають ультразвукові коливання в матеріалі виробу. Порушення і прийом ультразвукових коливань здійснюється за допомогою безконтактних електромагнітно-акустичних перетворювачів. Позитивною якістю останніх велика проникаюча здатність і незначна залежність від електромагнітних характеристик контрольованих виробів.

3. Метод ультразвукових резонансів. За допомогою генератора, налаштованого на резонансну частоту коливань виробу даної товщини, визначають момент зникнення резонансу. Потім, знаючи частоту випромінювання ультразвуку і швидкість його поширення в матеріалі, знаходять товщину виробу.

Для контролю механічних властивостей (границі міцності, границі плинності, відносного подовження, тривалої міцності) зразки-свідки піддають випробуванням розтягу на спеціальних машинах, на яких автоматично фіксується діаграма розтягування. При аналізі діаграми визначають вище вказані характеристики.

3.3 Види дефектів при термічній обробці деталей з ресорно-пружинних сталей, та заходи по їх усуненню і попередженню

Види дефектів при термічній обробці деталей з ресорно-пружинних сталей, та заходи по їх усуненню і попередженню наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Види дефектів при термічній обробці деталей з ресорно-пружинних сталей, та заходи по їх попередженню і усуненню

№ п/п	Вид дефекту	Причина виникнення дефекту	Заходи по запобіганню появи дефекту	Заходи по усуненню дефекту
1	2	3	4	5
1	Занижена твердість	1.1 Понижена швидкість охолодження 1.2 Підвищена кількість $A_{зал}$; завищена t-ра гарту або $\tau_{витр}$ 1.3 Відпуск при занадто високій температурі 1.4 Відпуск при пониженій температурі або скорочена тривалість відпуску порівняно із установленою	1.1 Використання раціонального охолоджувального середовища 1.2 Гартування при раціональних t-рах та $\tau_{витр}$ 1.3, 1.4 Контроль температури нагрівання та охолодження	1.1 Відпал + наступне гартування за технологією 1.2 Обробка холодом із наступним відпуском 1.3, 1.4 Повторний відпуск при потрібній температурі

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5
2	Зневуглецювання	2.1 Нагрівання в печах з окисною атмосферою СНО, СШО 2.2 Нагрівання в печах СНЗ в атмосфері з недостатнім вуглецевим потенціалом	2.1 Використання печей СНЗ або СВС 2.2 Контроль та регулювання вуглецевого потенціалу	Реставраційне навуглецювання за одиничною технологією. При розробленні обов'язково враховується глибина зневуглецьованого шару, початковий та потрібний вміст вуглецю.
3	Короблення	3.1 Нерівномірний і швидкий нагрів 3.2 Незадовільне укладання деталей в печі 3.3 Дія залишкових напружень	3.1, 3.2 Використання спеціальних пристосувань для гартування деталей. 3.3 Зміна гартівного середовища.	Рихтування виробів з наступною термічною обробкою по раціональному режиму.
4	Гартівні тріщини	4.1 Нагрівання із високими швидкостями в наслідок яких виникає великий перепад температур за перетином; 4.2 Різке охолодження із завищеною швидкістю; 4.3 Конструкційні особливості виробів	4.1 Дотримання технології підігріву 4.2 Використання м'яких гартівних середовищ 4.3 Аналіз технологічності виробу при конструкційній розробці	Невиправні дефекти

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНЙ ВЛАСТИВОСТІ ПРУЖИН

4.1 Особливості виготовлення пружин автомобіля

Технологія виготовлення циліндричних гвинтових пружин передбачає виконання таких операцій: контроль сталі перед пуском у виробництво, різання прутків, відтяжка кінців заготовки, нагрів під навивання та саме навивання, термообробка, зміцнення, стиснення для зняття залишкових деформацій, обробка торців, випробування, контрольна перевірка і фарбування з наступним сушінням.

Розглянемо маршрутну технологію для ресорно-пружинних сталей на прикладі циліндричної пружини зі сталі 60С2А (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Схема маршрутної технології виготовлення циліндричної пружини з ресорно-пружинної сталі 60С2А

№ п/п	Назва операції (комплексу операцій)	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1.	Вхідний контроль	Заготівельний цех (або заготівельна дільниця) ковальського цеху	Контроль хімічного складу, розмірів, макроструктури, відсутності дефектів
2.	Гаряча пластична деформація (нарізання)	Ковальський цех	Отримання заготовок необхідної форми, розмірів та створення сприятливої макроструктури

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
3.	Попередня термічна обробка	Термічний цех	Усунення перегрівання, пониження твердості для поліпшення обробки різанням, зняття напружень
4.	Контроль операційний	Термічний цех	Контроль твердості деталі після попередньої термічної обробки
5.	Механічна обробка (навивання)	Механічний цех	Надання заготовці необхідної форми та розмірів
6.	Основна термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Надання матеріалу необхідної структури, механічних та експлуатаційних властивостей (Структура трооститу відпуску з твердістю 45,5-49,5 HRC)
7.	Контроль операційний	Термічний цех	Контроль твердості деталі після основної термічної обробки
8.	Остаточна механічна обробка	Механічний цех	Надання виробу остаточних розмірів, геометрії, шорсткості у відповідності із робочим кресленням
9.	Контроль	Механічний цех	Контроль параметрів, які зазначені на кресленні, мікроструктури, твердості, хімічного складу

Прокат по ГОСТ 14955-77 повинен бути з обточеною або шліфованою поверхнею з параметрами шорсткості Rz не більше 20 мкм.

Підготовка вихідного матеріалу полягає в перевірці марки сталі або сплаву, стану поверхні прутків і їх прямолінійності. Заготовки нарізають в нагрітому до температури 750 - 900 °С стані на прес-ножицях.

Гаряче навивання, хоча і є більш дорогим методом виготовлення пружин, забезпечує більш високі її властивості, включаючи витривалість. Також при гарячому навиванні знімається обмеження по діаметру прутка і його твердості. Перед навиванням кінці заготовок нагрівають в печі до температури 900 - 950 °С. Піч перед нагріванням прогрівають до температури 1150 - 1250 °С.

Довжина кінця заготовки, що нагрівається, підтримується на рівні не меншому за 0,8 довжини відтягнення. Температура на кінцях відтягнення становила 950 - 1150 °С. Тривалість нагрівання 8 - 15 хв. Нагрівання вище 1150 °С призводить до зростання зерна в сталі, до погіршення її структури і зниження механічних властивостей. При нагріванні нижче 950 °С сталь має знижену пластичність, внаслідок чого на кінцях заготовок при відтягненні утворюються тріщини.

Після відтягнення на бічну поверхню відтягнутого кінця пружини в гарячому стані наносять маркування: порядковий номер за системою нумерації підприємства-виготовлювача; рік і місяць; марку сталі.

Пружини навивають і гартують з одного нагрівання заготовки до температури 900 - 950 °С. Тривалість нагріву становила 10 - 30 хв.

При нагріванні заготовок для навивки було забезпечується рівномірний прогрів по всьому об'ємі при мінімальному окалиноутворенні і зневуглецюванні верхнього шару металу. При нагріванні заготовок для навивання пружин застосовують одноступінчастий режим нагріву, так як вважається, що перетин заготовок для пружин діаметром від 8 до 40 мм є тонким і великі внутрішні напруження внаслідок перепаду температур між поверхнею і центром заготовки виникнути не можуть.

Навивання нагрітих прутків виконують на спеціальних верстатах. Після навивання вирівнюють крок витків на калібрувальному пресі,

підтискають кінці пружини і перевіряють її висоту, а за допомогою кутника визначають перпендикулярність пружини до її опорної поверхні по висоті.

Навивання пружин здійснюють на пружинонавивальних верстатах, а в одиничному виробництві великі пружини можуть бути виготовлені на токарно-гвинторізних верстатах із застосуванням оправок, на яких змонтовані затискні пристрої для кріплення відтягнутого кінця заготовки. Пружинонавивальні верстати дають можливість навивати пружини будь-якого кроку, змінювати виправлення обертання і частоту обертання шпинделя, за рахунок цього автоматично отримують крайні притиснуті витки пружини.

При гарячому навиванні великих пружин враховується, що лінійні розміри нагрітої заготовки збільшені на 1,2 - 1,5% проти її довжини в холодному стані. Внаслідок змін розмірів при охолодженні навиту пружину необхідно швидко зняти з оправлення, так як при охолодженні, скорочуючись в розмірах, пружина з утрудненням сходить з оправлення.

Швидкість навивки становить 12 - 20 м/хв. Якщо навивати з меншою швидкістю, то значне охолодження заготовки на оправці призводить до утворення тріщин і появи високих залишкових напружень, а також ускладнює знімання з оправлення охолодженої пружини. Підвищення швидкості не дає високоякісного навивання, так як спотворює профіль витків.

Гарячу пружину знімають з оправлення і укладають в тару або безпосередньо на робочому місці для охолодження. Навиті пружини надходять на наступні операції розводки, правки і підтиснення неробочих витків.

Гарячу правку пружин виконують на оправці між плитами (рис. 4.1). Правкою усувають нерівномірність кроку окремих витків, неперпендикулярність торцевої площини неробочих витків осі пружини.

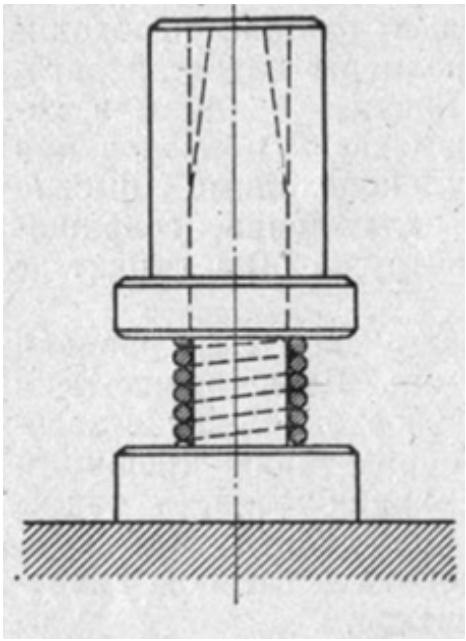


Рисунок 4.1 – Прилад для правки та осадження пружин

Правку пружин рекомендується виконувати в інтервалі температур 700 - 850 °С. Правка при більш низьких температурах викликає в металі залишкові напруження, які призводять до осідання і викривлення пружини в процесі нагрівання під термічну обробку.

Пружини після цього піддають термообробці на твердість від 375 до 444 НВ або від 41,4 до 46,0 HRC, що досягається гартуванням з наступним відпуском. При цьому поліпшуються механічні властивості і усуваються внутрішні напруги.

Залишкову деформацію знімають одноразовим стисненням до зіткнення витків з витримкою 5 - 8 секунд.

4.2 Вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин

Температура гартування пружин, що забезпечує отримання дрібнокристалічного мартенситу, відповідає 850 - 870 ^{o}С для стали 60С2А.

Після гартування з зазначених температур досягається максимальна твердість, а після відпуску - оптимальне поєднання міцності і пластичності.

При виготовлення автомобільних пружин в процесі гартування, коли сталь знаходиться в аустенітному стані, здійснюється формозміна (навивка), тому температура нагріву підвищена до 900 - 950 °С, так як при цьому зростає і гаряча пластичність і стійкість аустеніту при подальшому переохолодженні. При цьому переохолодження аустеніту в процесі навивки до 800 - 775 °С не викликає його розпаду. Суміщення операцій нагріву одночасно і для гартування і навивки пружин є ефективним і в економічному і технічному відношенні. Останнє пов'язано з тим, що при зменшенні числа нагрівань зменшується величина зневуглецювання і, крім того, мартенсит, що утворюється при гартуванні, «успадковує» субструктуру, отриману в аустеніті в процесі деформації.

Підвищення температури нагріву сталі 60С2А важливо не тільки для подальшого формозміни заготовок пружин в аустенітному стані, але і для збільшення їх втомної міцності. Границя витривалості сталі 60С2А після гартування 870 °С і відпуску при 480 °С (HRC 40 - 42) становить 469 МПа, а після гартування з 960 - 980 °С і відпуску при 480 °С він дорівнює 521 МПа (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Границя витривалості сталі 60С2А в залежності від температури гартування

Режим термічної обробки	Границя витривалості, МПа
Гартування 870 °С, відпуск 480 °С	469
Гартування 970 °С, відпуск 480 °С	521
Гартування 1000 °С, відпуск 480 °С	205

Основною причиною є підвищення хімічної однорідності аустеніту як по вмісту кремнію, так і залежної від нього однорідності розподілу вуглецю. Підвищення температури гартування вище 960 - 980 °С може привести до перегріву і виникнення тріщин при гартуванні. Нагрівання до 1000 °С викликає сильне збільшення розмірів зерна, що позначається на границі витривалості, як видно з результатів випробувань.

Поліпшення властивостей сталі 60С2А може бути забезпечено у разі застосування ізотермічного гартування на нижній бейніт. Найбільш ефективне ізотермічне гартування на нижній бейніт в районі, близькому до мартенситної точки, коли α-фаза характеризується підвищеною концентрацією вуглецю. В цьому випадку термообробка дозволяє підвищити втомну міцність (рис. 4.2) та стійкість при випробуванні на повторний удар.

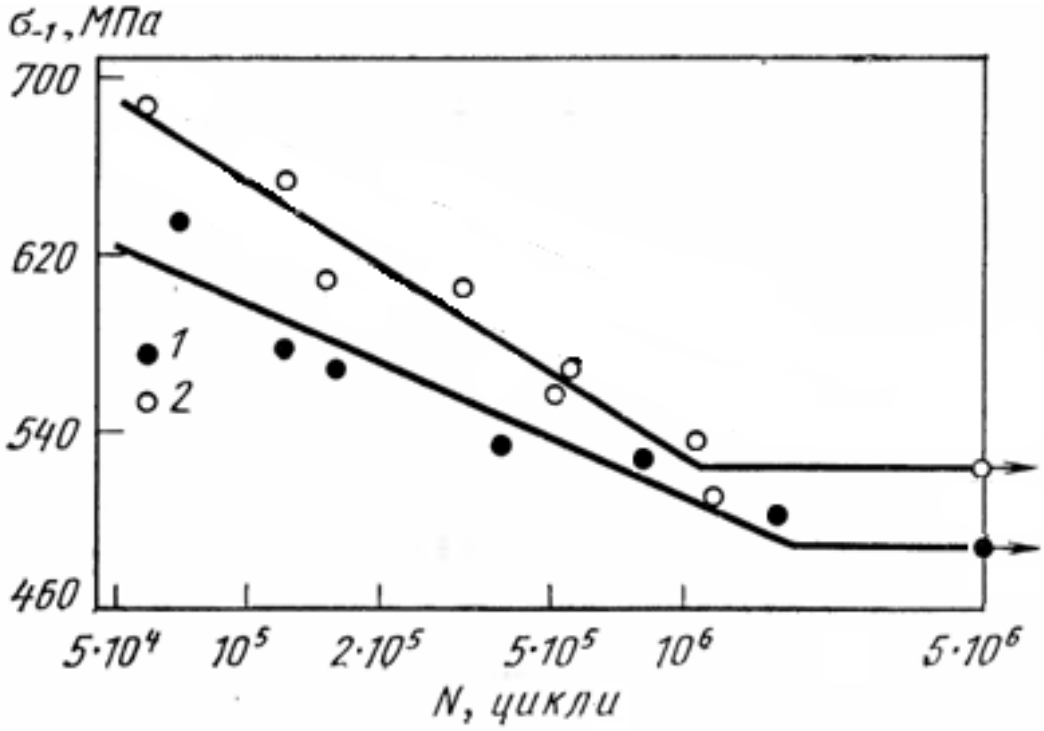
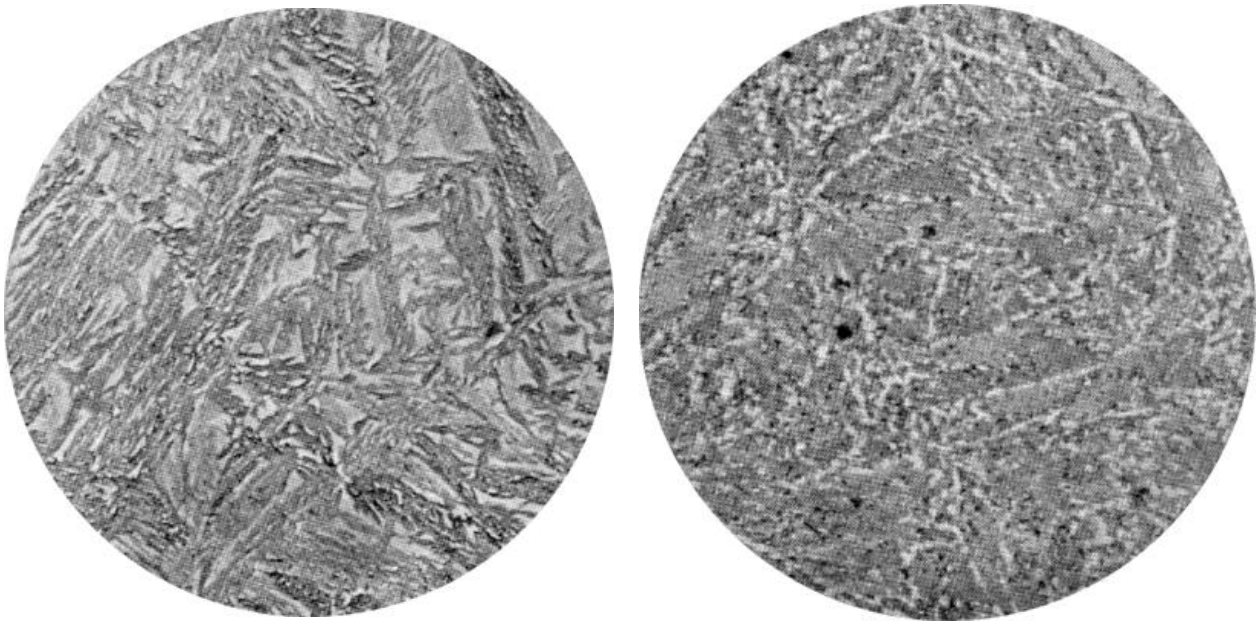


Рисунок 4.2 – Залежність границі витривалості сталі 60С2А від режиму термічної обробки:

1) гартування 870 °С, масло, відпуск 480 °С; 2) ізотермічне гартування з витримкою при 300 °С, 45 хв.

Границя витривалості після ізотермічного гартування при $N = 10^6$ на 50 МПа вища, ніж після звичайної ТО і становить приблизно 540 МПа. При менших циклах навантажень різниця в значеннях границі витривалості ще більша.

Після ізотермічного гартування сталі 60С2А з витримкою при 300 ^oC на твердість HRC 48 - 49 число ударів до руйнування становить 1430, а після гартування і відпуску на рівну твердість воно дорівнює 920. Причиною поліпшення втомної міцності після ізотермічного гартування може бути більш рівномірний розподіл в структурі частинок карбідів, а також їх більш сприятлива форма і інший фазовий склад сталі, ніж після звичайної гартування і відпуску на твердість HRC > 40 (рис. 4.3).



а б

Рисунок 4.3 – Структура сталі 60С2А після різних режимів термообробки (х5000):

а)ізотермічне гартування 300 ^oC, 45 хв.; б) гартування 870 ^oC, масло, відпуск 480 ^oC, повітря

Підвищена втомна міцність сталі після ізотермічного гартування може бути також пов’язана з присутністю в структурі підвищених кількостей залишкового аустеніту, який сприяє релаксації або перерозподілу мікронапружень за рахунок пластичної деформації. Крім того, залишковий аустеніт за рахунок локальної деформації знижує піки напружень на дефектах структури і дефектах поверхні і тому знижує чутливість стали до надрізу.

Застосування відпуску після ізотермічного гартування ще більше підвищує границю витривалості, як показують результати випробувань (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Границя витривалості сталі 60С2А в залежності від термічної обробки

Режим термічної обробки	Границя витривалості, МПа	Границя міцності, МПа
Гартування 870 °С, відпуск 480 °С	497	1810
Ізотермічне гартування 330 °С, відпуск 300 °С	571	1680

Втомна міцність для сталі 60С2А після ізотермічного гартування з витримкою при 330 °С і відпуску при 300 °С (подвійна ізотермічна обробка) вище, ніж після гартування та відпуску при 480 °С, хоча в останньому випадку границя міцності дорівнює 1810 МПа, а після подвійної ізотермічної обробки вона становила лише 1680 МПа. Границя витривалості на базі 10^6 циклів при випробуванні консольно затисненого зразка після подвійної ізотермічної обробки становила 571 МПа, а після гартування з відпуском – 497 МПа.

Зневуглецювання є основним дефектом кремнистих сталей, таких як 60С2А. Процес зневуглецювання в інтервалі температур, відповідних, режимам, при яких виробляються технологічні операції, досить інтенсивний. Достатньо 20-хвилинного нагрівання на повітрі при 900 °С зразків зі сталі 60С2А для виникнення зневуглецьованого шару зі структурою чистого фериту товщиною 0,13 - 0,14 мм на сторону (рис. 4.4).

Результати випробувань на згин з обертанням круглих втомних зразків зі сталі 60С2А з твердістю серцевини близько HRC 45 наведені на рис. 4.5. Видно, що вже при появі на поверхні зневуглецьованого шару завтовшки 0,03 мм границя витривалості знижується з 520 до 340 МПа, т.т. приблизно на 35%. Подальше збільшення глибини зневуглецьованого шару впливає в меншій мірі на зниження границі витривалості.

Рисунок 4.4 – Зневуглецьований шар опорного витка

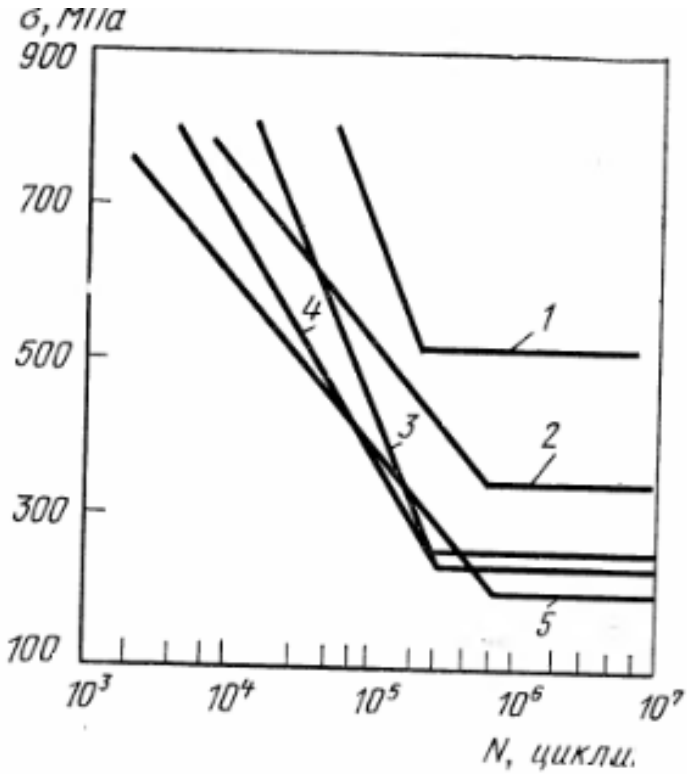


Рисунок 4.5 – Вплив глибини зневуглецьованого шару на втомну міцність сталі 60С2А:

1) без зневуглецювання; 2) глибина зневуглецювання 0,03 мм; 3) глибина зневуглецювання 0,1 мм; 4) глибина зневуглецювання 0,2 мм; 5) глибина зневуглецювання 0,35 мм

Наявність зневуглецьованого шару впливає на характер руйнування. У зразків без зневуглецювання причиною руйнування зазвичай є одинична втомна тріщина, тоді як в присутності зневуглецьованого шару спостерігається масове утворення тріщин під дією циклічних навантажень. Типові схеми зламів зразків, випробуваних поблизу границі витривалості, наведені на рис. 4.6. У зневуглецьованих зразків виявляється кілька втомних зон (позначені стрілками), у зразків без зневуглецювання - одна.

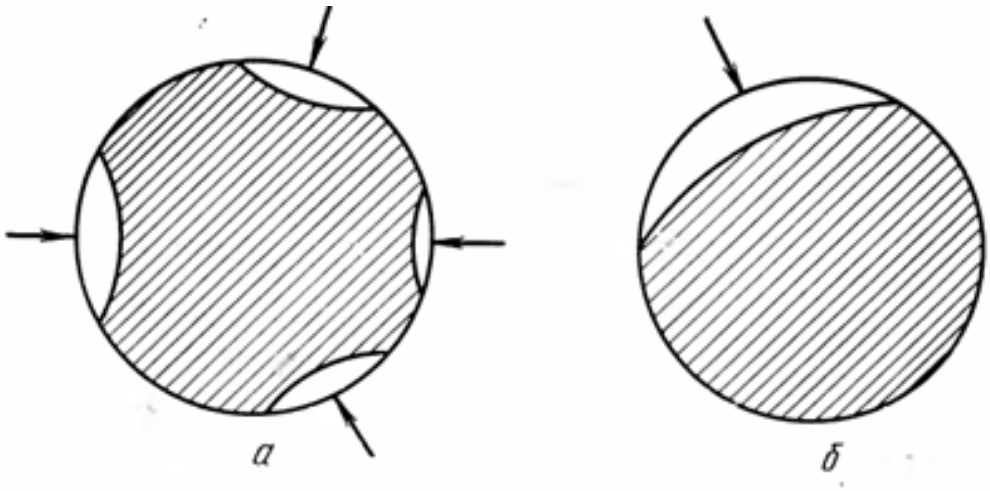


Рисунок 4.6 – Схеми втомних зламів зневуглецьованих зразків. Осередки втомного руйнування позначені стрілками:

а) зі зневуглецюванням; б) без зневуглецювання

Той факт, що зневуглецьований шар є небезпечним поверхневим дефектом і ефективно знижує границю витривалості, стає очевидним при розгляді результатів втомних випробувань гладких зразків зі сталі 60С2А після гартування і відпуску в інтервалі 200 - 600 °С (рис 4.7).

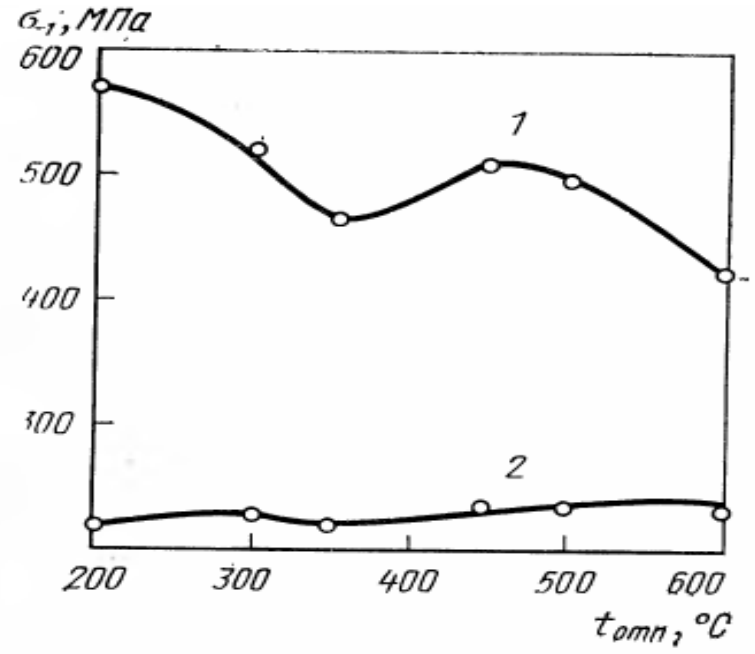


Рисунок 4.7 – Вплив температури відпуску на границю витривалості зразків при згині с обертанням:

1) без зневуглецювання; 2) зневуглецьовані

У зневуглецьованих зразків (крива 1) границя витривалості максимальний для структури мартенситу відпуску і знижується з 580 МПа в мірі підвищення температури відпуску приблизно до 420 МПа (структура перліту). У зразків з поверхнею, зневуглецьованого на глибину 0,1 мм до структури практично однорідного фериту, границя витривалості не залежить від температури відпуску і становить близько 220 - 250 МПа, оскільки при цьому міцність фериту залишається постійною. Ці результати свідчать про те, що стан поверхні грає головну роль в опорі втомному руйнуванню.

4.3 Підвищення витривалості пружин методами поверхневого пластичного деформування

Дробометний або дробоструминний наклеп є однією з останніх операцій технологічного процесу, що підвищує динамічну міцність пружин. З усіх методів зміцнення пружин, що застосовуються на підприємствах, дробоструминний наклеп найбільш поширений. Це пояснюється, з одного боку, високою ефективністю зміцнюючого впливу і продуктивністю процесу, а з іншого боку, складністю геометрії і профілю пружин, що ускладнює застосування інших методів поверхневого зміцнення, за винятком гідроабразивної обробки. Дробоструминна обробка є більш економічною (в порівнянні з гідро- і пневмообробкою), так як створює більш широкий і однорідний по щільності потік дробу. При дробоструминній обробці на поверхні витків створюються двосторонні залишкові напруги стиснення, що

перешкоджають розкриттю втомних тріщин і підвищують границю витривалості.

Величина залишкових напружень і їх глибина (глибина наклепу) залежать від режимів обробки і міцності матеріалу, що оброблюється. Зі збільшенням швидкості (50...80 м/с), збільшенням діаметра дробу (0,4...2 мм) і зі зменшенням границі міцності (твердості) матеріалу глибина наклепу збільшується

Криві границі витривалості для незміцненої сталі і після дробоструминної обробки були побудовані використовуючи результати випробувань, отриманих з використанням машини для випробування на втому. Для побудови кривої були використані середні значення напружень для кожного рівня інтенсивності (рис. 4.8).

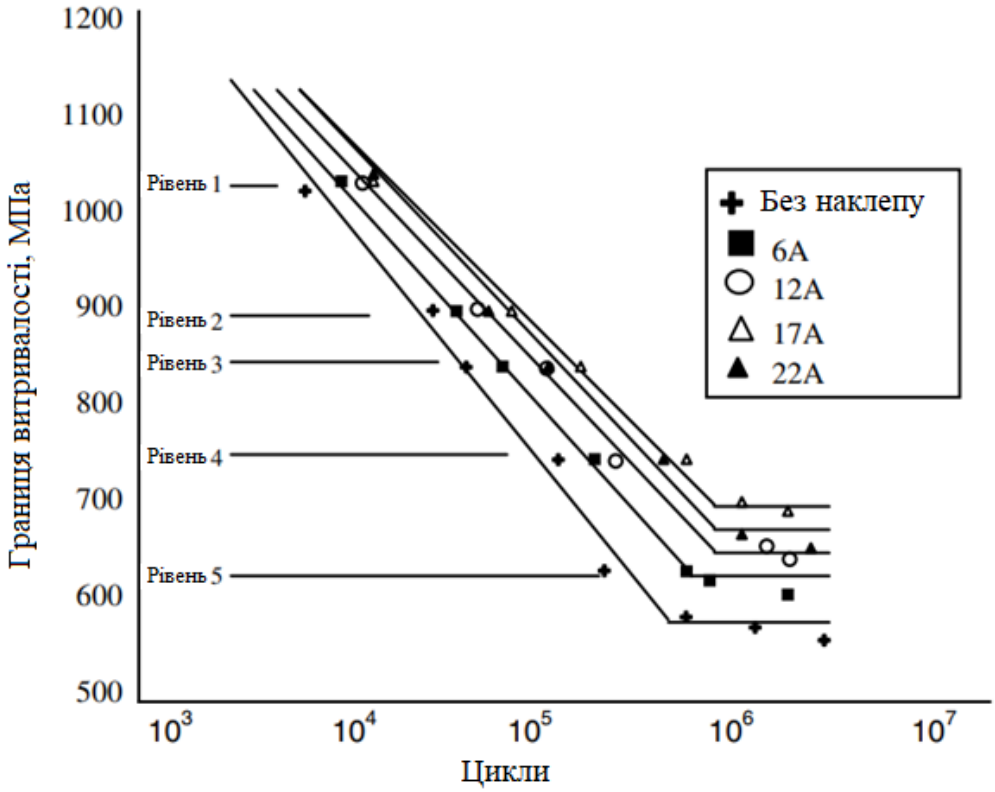


Рисунок 4.8 – Вплив інтенсивності дробоструминного наклепу на границю витривалості зразків зі сталі 60С2А

Вплив дрібоструминної обробки при високому навантаженні (рівень 1: 1033 МПа) був незначним. Для проміжних умов (10^5 циклів, рівень 2: 900

МПа, рівень 3: 845,6 МПа і рівень 4: 750 МПа), приріст втомної міцності по відношенню до необробленої сталі був набагато більш виразним. Витривалість зразків збільшувалася з підвищенням інтенсивності дрібоструминної обробки до інтенсивності 17А, при якій спостерігалася найкращі показники. Подальше підвищення інтенсивності до 22А знижувало міцність від втоми. Таке зниження втомної міцності при більш високій інтенсивності дробоструминної обробки може бути викликано зародженням тріщини на поверхні і ранньою релаксацією залишкових напружень стиснення в процесі втоми.

Значення втомної міцності, отримані після випробувань стандартних зразків повинні бути змінені з огляду на фізичні відмінності між зразком для випробувань і справжньою деталлю. Коефіцієнти зниження міцності множаться на границю витривалості (ГВ) для отримання скоригованої границі витривалості (СГВ) для конкретного застосування:

$$СПВ = С_{нагр.} * С_{разм.} * С_{поверх.} * С_{темп.} * С_{над.} * ПВ, \qquad (4.1)$$

де $С_{нагр.}$ - коефіцієнт зниження міцності в залежності від навантаження, $С_{разм.}$ – коефіцієнт зниження міцності в залежності від розміру, $С_{поверх.}$- коефіцієнт зниження міцності в залежності від якості поверхні, $С_{темп.}$ - коефіцієнт зниження міцності в залежності від температури, $С_{надежн.}$ - коефіцієнт зниження міцності в залежності від довговічності.

Криві скоригованої границі витривалості будуть мати вид, показаний на рис. 4.9.

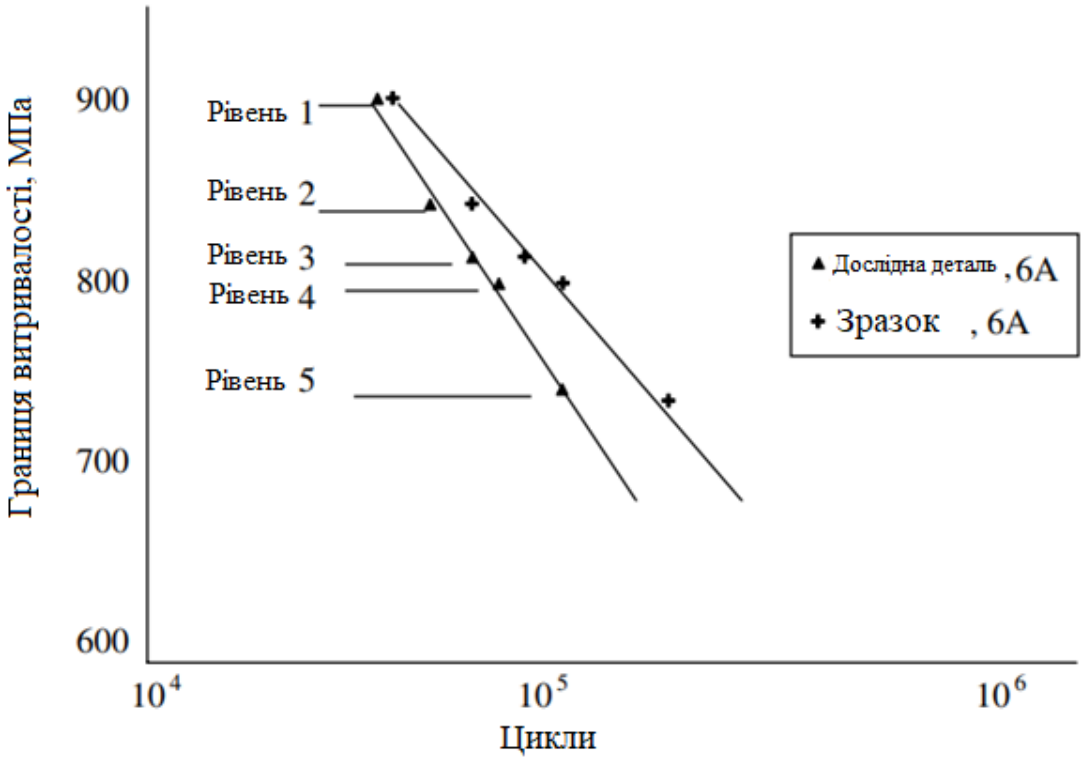


Рисунок 4.9 – Порівняння границі витривалості зразка і виготовленої деталі

Отже, підвищення рівня стискуючих напружень при дробоструминній обробці поверхні пружин зі сталі 60С2А призводить до підвищення її границі витривалості. Однак, інтенсивність обробки необхідно контролювати, так як при її підвищенні понад 17А, призводить до зниження втомної міцності сталі.

З огляду на, що зневуглецювання є поширеним дефектом в кременистих сталях, доцільно визначити можливість усунення його негативного впливу на границю витривалості за допомогою методів поверхневого пластичного деформування. Проведено випробування зразків зі сталі 60С2А з твердістю HRC 45 і глибиною зневуглецьованого шару до 0,35 мм, зміцнених дробом діаметром 0,8 - 1,0 мм зі швидкістю польоту 57 і 78 м/с протягом 30, 60 і 120 с. Результати випробувань плоских зразків, зміцнених протягом 2 хв дробом при швидкості 57 м/с, наведені на рис. 4.10.

Найбільша втомна міцність досягнута на зразках з мінімальним зневуглецьованим шаром, рівним 0,05 мм (крива 1). Наклеп дробом зразків з повністю зневуглецьованим шаром глибиною до 0,15 мм дозволяє відновити значення границі витривалості практично до рівня зразків без

зневуглецювання, але без наклепу дробом. При більш глибокому зневуглецьованому шарі поверхневе зміцнення дробом виявляється менш ефективним. Залежність ефективності поверхневого зміцнення дробом від глибини зневуглецьованого шару може бути пояснена при розгляді розподілу залишкових напружень по перерізу зміцнених зразків.

Як відомо, глибина розташування максимального рівня залишкових стискаючих напружень при поверхневому зміцненні залежить від твердості матеріалу, що зміцнюється. Тому можна припускати, що для зразків з мінімальним зневуглецьованим шаром розподіл залишкових стискаючих напружень, які в першу чергу відповідальні за підвищення границі витривалості у сталей середньої міцності, подібне спостерігається у зразків без зневуглецювання.

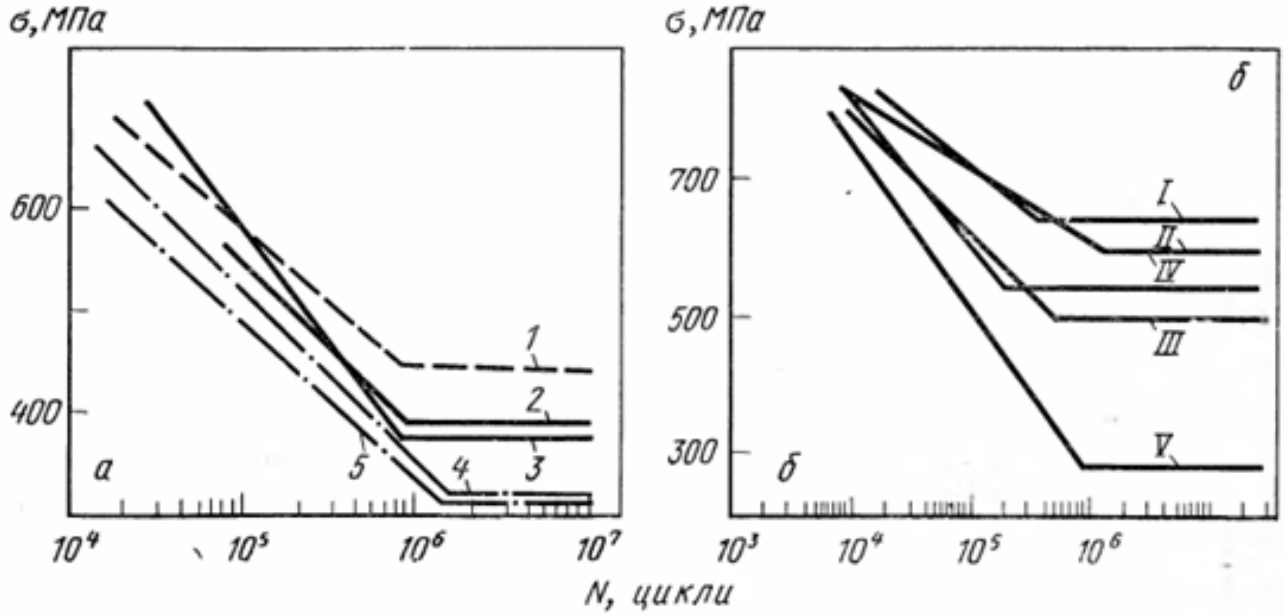


Рисунок 4.10 – Залежність втомної міцності зразків зі сталі 60С2А після зміцнення дробом від величина зневуглецьованого шару:

а) плоский зразок; б) круглий зразок; 1) глибина зневуглецьованого шару 0,05 мм; 2) без зневуглецювання; 3) глибина зневуглецьованого шару 0,15 мм; 4) глибина зневуглецьованого шару 0,2 мм; 5) глибина зневуглецьованого шару 0,2 мм; I) глибина зневуглецьованого шару 0,03 мм; II) без зневуглецювання; III) глибина зневуглецьованого шару 0,2 мм; IV)

глибина зневуглецьованого шару 0,1 мм; V) глибина зневуглецьованого шару 0,35 мм

В той же час більш пластична зневуглецьована поверхня виявляється менш пошкодженою при зміцненні дробом у порівнянні з троостосорбітною структурою зразків без зневуглецювання, що мають меншу пластичність.

Таким чином, чим ближче до поверхні розташований максимум залишкових напружень стиснення, тим вища втомна міцність. У тих випадках, коли глибина залягання залишкових стискаючих напружень, викликаних дробоструминним зміцненням, близька до глибини зневуглецьованого шару, поверхневе зміцнення досить ефективне. Коли глибина зневуглецювання значно перевищує можливу глибину локалізації залишкових напружень, в значній мірі відновити втомну міцність не вдається. Аналіз розподілу залишкових напружень в зразках від наклепу дробом показав, що при збільшенні глибини зневуглецьованого шару відбувається розширення області, де реалізуються залишкові напруження стиснення і одночасно зменшується їх найбільше значення. Цей результат підтверджує наведене раніше пояснення ефективності зміцнення дробом сталі зі зневуглецьованою поверхнею.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

5.1 Актуальність теми з позиції маркетингу

Розвиток машинобудування та металургії, виробництва і використання все в більших обсягах конкурентоздатних матеріалів, підвищення експлуатаційних вимог до пружних матеріалів неминуче приводять до необхідності використання більш коштовних матеріалів і давно вже вимагали суттєвих змін в структурі виробництва ресорно-пружинних сталей.

Багато пружних елементи виконують ключову роль в роботі різних вузлів і механізмів. В процесі експлуатації вони піддаються численним знакозмінним навантажень, під впливом яких вони деформуються, повертаючи свою вихідну форму і габарити після завершення навантаження.

Для виготовлення автомобільних пружин найбільш часто застосовують гарячекатаний круглий прокат з конструкційних ресорно-пружинних сталей марок 55С2, 60С2, 55С2А, 60С2ХА і інших марок за ГОСТ 14959-79. Однак незадовільний комплекс основних властивостей (зокрема границя витривалості) більшості таких сталей призводив до низької стійкості пружин, що зазнають високих навантажень. Це вимагало створення та застосування ресорно-пружинних сталей, що мають комплекс більш високих фізико-механічних властивостей. Також, ці сталі швидко піддаються зневуглецюванню.

Підвищити експлуатаційні властивості пружин з даних сталей можна змінюючи мікроструктуру сталі за допомогою регулювання параметрів термічної обробки, а також створенням в поверхневому шарі деталей стискаючих напруг.

Виходячи з цього доцільним є дослідження впливу параметрів термічної обробки і поверхневого пластичного деформування на експлуатаційні властивості пружин зі сталі 60С2А.

Обидва методи в комплексі дозволять отримати підвищений рівень границі витривалості, що збільшить втомну міцність деталі та підвищить її строк служби.

В даному розділі розраховується економічна ефективність від впровадження нового режиму термообробки та використання поверхневого пластичного деформування для циліндричних пружин зі сталі 60С2А.

5.2 Система планування та управління

5.2.1 Складання переліку етапів робіт

Планування розробки визначення ефективності проведеного дослідження здійснюється за допомогою наступного методу мережевого планування і управління (СПУ).

Система СПУ включає в себе:

- складання переліку етапів і визначення тривалості виконання робіт;
- побудова графіка Ганта;

Весь комплекс розробки проекту підрозділяється на етапи. За кожним з етапів розраховується трудомісткість, виконавці та тривалість робіт.

Для визначення трудомісткості використовується імовірнісна оцінка часу виконання робіт.

Очікуваний час виконання етапу визначається за формулою:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1)$$

де t_{min} - мінімально необхідний час на виконання етапу робіт при найбільш сприятливих умовах, днів;

t_{max} - максимальні витрати часу на виконання роботи за певним етапом у несприятливих умовах, днів.

Ступінь правильності визначення $t_{оч}$ перевіряється розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінками часу). Дисперсія визначається за формулою:

$$\sigma^2(t) = (\frac{t_{max} - t_{min}}{5})^2 \quad (5.2)$$

Якщо дисперсія менше або дорівнює 1, то тимчасові оцінки робіт вважаються обраними коректно, що говорить про малий ступінь невизначеності в значеннях максимальної та мінімальної тривалості робіт. Результати розрахунку наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Тривалість етапів робіт

№	Найменування роботи	Тривалість			Дисперсія σ	Виконавці		Тривалість, днів
		t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		Спеціальність	Кіл–сть, чол	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Вибір теми, ознайомлення з нею, обґрунтування	2	3	2	0,04	Старший науковий співробітник	1	2
2	Виявлення та підбір літератури з теми, її вивчення	3	4	3	0,04	Старший науковий співробітник	1	3
3	З’ясування об’єкта, предмета, завдань дослідження	4	5	4	0,04	Старший науковий співробітник	1	4

4	Складання бази даних	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Складання потрібного плану роботи, узгодження з керівником	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4
6	Оглядособливостей експлуатації пружних елементів автомобілів	6	7	6	0,04	Молодший науковий співробітник	1	6
7	Аналіз впливу легувальних елементів на структуру та властивості ресоро-пружинних сталей	5	6	5	0,04	Молодший науковий співробітник	1	5
8	Огляд особливостей виробництва та термічної обробки пружин	7	9	8	0,16	Молодший науковий співробітник	1	8
9	Визначення методів підвищення експлуатаційних властивостей пружин	8	9	8	0,04	Молодший науковий співробітник	1	8
10	Проведення дослідження мікроструктур	7	9	8	0,16	Лаборант	1	8

11	Виготовлення зразків для подальших досліджень та їх термічна обробка	3	5	4	0,16	Лаборант	1	4
12	Проведення механічних та промислових випробувань	2	3	2	0,04	Лаборант	1	2

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Огляд технології виготовлення та термічної обробки циліндричної пружини автомобіля	1	2	1	0,04	Молодший науковий співробітник	1	1
14	Дослідження вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин	3	4	3	0,04	Молодший науковий співробітник	1	3
15	Дослідження можливості підвищення витривалості пружин методами поверхневого пластичного деформування	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4
16	Формування та розрахунок економічної частини	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4

17	Формування розділу з охорони праці	4	5	4	0,04	Молодший науковий співробітник	1	4
18	Оформлення пояснювальної записки	6	6	6	0	Молодший науковий співробітник	1	6
Всього		77	98	80		-	-	80

5.2.2 Графік Ганта

Графік Ганта - це тип стовпчастих діаграм (гістограм), який використовується для ілюстрації плану, графіка робіт по проекту. Він складається зі смуг, що орієнтовані вздовж осі часу. Кожна смуга на діаграмі представляє окрему задачу у складі проекту (вид роботи), її кінці - моменти початку і завершення роботи, її протяжність - тривалість роботи. Вертикальною віссю діаграми служить перелік завдань.

Графік Ганта будується за даними табл. 5.2 і представлений на рис. 5.1.

Таблиця 5.2 – Список робіт графіка Ганта

№	Код роботи	Найменування роботи	Тривалість, днів
1	2	3	4
1	1 – 2	Вибір теми, ознайомлення з нею, обґрунтування	2

2	2 – 3	Виявлення та підбір літератури з теми, її вивчення	3
3	3 – 4	З’ясування об’єкта, предмета, завдань дослідження	4
4	4 – 5	Складання бази даних	4
5	5 – 6	Складання потрібного плану роботи, узгодження з керівником	4
6	6 – 7	Оглядособливостей експлуатації пружних елементів автомобілів	6
7	7 – 8	Аналіз впливу легувальних елементів на структуру та властивості ресоро-пружинних сталей	5

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4
8	8 – 9	Огляд особливостей виробництва та термічної обробки пружин	8
9	9 – 10	Визначення методів підвищення експлуатаційних властивостей пружин	8
10	10 – 11	Проведення дослідження мікроструктур	8
11	11 – 12	Виготовлення зразків для подальших досліджень та їх термічна обробка	4
12	12 – 13	Проведення механічних та промислових випробувань	2
13	13 – 14	Огляд технології виготовлення та термічної обробки циліндричної пружини автомобіля	1
14	14 – 15	Дослідження вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин	3

15	15 – 16	Дослідження можливості підвищення витривалості пружин методами поверхневого пластичного деформування	4
16	16 – 17	Формування та розрахунок економічної частини	4
17	17 – 18	Формування розділу з охорони праці	4
18	18 – 19	Оформлення пояснювальної записки	6

Побудовано графік подій, графік Ганта, таблицю списку робіт.

Графік Ганта показує, що розподіл часу для всіх робіт є досить рівномірним. Найтривалішими є роботи № 8, 9 та 10, а найкоротшими – № 1, 12 та 13. Виконання всіх робіт займає 80 днів з 28.09.2018 по 17.12.2018. Роботи виконувались послідовно.

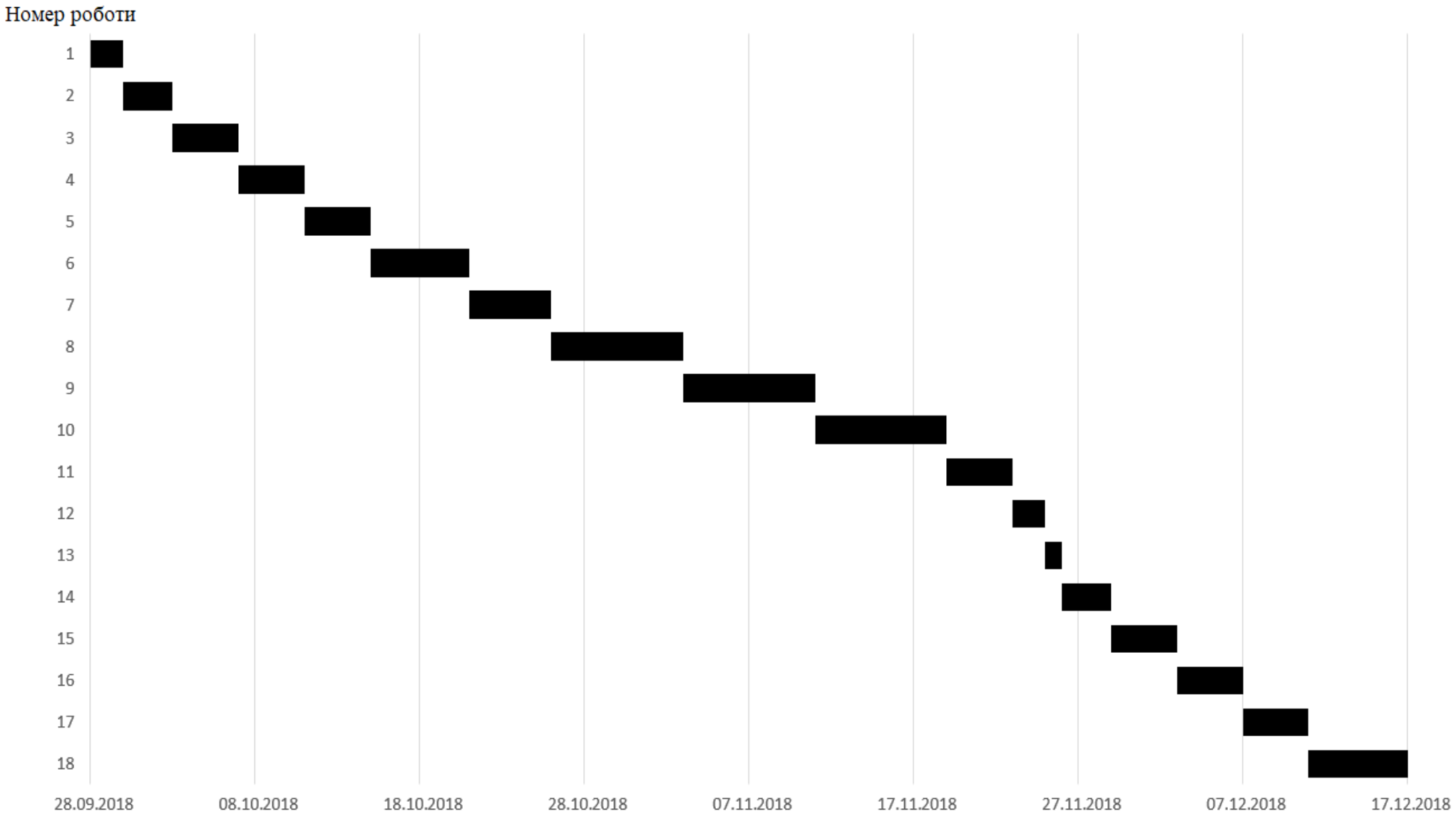


Рисунок 5.1 – Графік Ганта

5.3 Розрахунок кошторису витрат на проведення науково-дослідницької роботи

До складу витрат на виконання науково-дослідницької роботи входить вартість усіх ресурсів, необхідних для реалізації комплексу робіт.

Для визначення витрат на проведення науково-дослідницької роботи та технологічних випробувань, які вкажуть на доцільність використання нового сплаву, складається кошторис витрат (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідницької роботи

№ п/п	Стаття витрат	Умовне позначення	Сума	
			грн	% по всьому
1	Матеріали, покупні вироби та напівфабрикати (із відрахуванням відходів, що реалізуються)	$С_М$	884	2,05
2	Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи	$С_{ОБ}$	6490	15,04
3	Основна та додаткова зарплати виробничого персоналу	З	12298,77	28,51
4	Відрахування на соціальне страхування із суми основної та додаткової зарплати	С	4612,04	10,69
5	Витрати на відрядження	$В_{від}$	1106,89	2,57
6	Роботи і послуги сторонніх організацій	$В_{Ст}$	5000	11,59
7	Накладні витрати	$Н_В$	12750	29,55
8	Всього	$К_{НДР}$	43141,70	100

Розрахунок вартості матеріалів. До цієї статті належать витрати на придбання основних матеріалів для проведення дослідження, а також для виготовлення макетів та дослідних зразків (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Розрахунок витрат на матеріали

Матеріал	Марка	Одиниця	Витрати матеріалу	Ціна за одиницю, грн	Сума витрат, грн
Сталь	60С2А	1 кг	20 кг	40	800
Травник	Розчин Марбле $HCl+CuSO_4+H_2O$	1 л	100 г	200	20
Фотопапір	_	1 лист	1 лист	30	30
Всього					850
Транспортно-заготовельні витрати (ТЗВ)	4% вартості матеріалів				34
Всього з урахуванням ТЗВ					884

Спеціальне обладнання для наукової (експериментальної) роботи. В цій статті враховуються витрати на оренду лабораторних установок, вимірювальних та регулюючих приладів, пристроїв, випробувальної апаратури та ін. (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 – Витрати на спеціальне обладнання

Обладнання	Лабораторія	Вартість 1 години роботи в лабораторії, грн	Кількість годин роботи в лабораторії	Вартість, грн
Піч СНЗ 4.8.2/9	Термічної обробки	45	10	450
Дробоструминний апарат	Обробки металів тиском	120	5	600
Розривна машина	Механічних випробувань	48	30	1440
Електронний мікроскоп	Металографії	130	15	1950
Растровий мікроскоп	Металографії	120	15	1800
Твердомір ТК-2	Механічних випробувань	25	10	250
Всього				6490

Розрахунок фонду оплати праці. Витрати за цією статтею складаються із планового фонду зарплати усіх категорій працівників, які задіяні у проведенні наукових досліджень. Результати розрахунків наведені в табл. 5.6.

Додаткова заробітна плата визначається в розмірі 10% від основної зарплати штатних працівників.

Відрахування на соціальне страхування. Ці витрати визначаються в розмірі 37,5% основної та додаткової зарплати. Ці дані заносяться до табл. 5.3.

Витрати на відрядження. Ці витрати можна визначити прямим рахунком залежно від відряджених працівників, тривалості відрядження й транспортних витрат. На стадії проектування їх можна прийняти рівними 8-10% від суми основної заробітної плати (табл. 5.3).

Таблиця 5.6 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада	Кількість працівників	Місячний оклад, грн.	Кількість днів роботи	Заробітна платня, грн.	Додаткова заробітна плата, грн.
Старший науковий співробітник	1	5286	9	1585,8	158,58
Молодший науковий співробітник	1	4264	57	8101,6	810,16
Лаборант	1	3200	14	1493,3	149,33
Всього	3		80	11180,7	1118,07
Разом	3			12298,77	

Роботи та послуги сторонніх організацій. До цієї статті витрат належать оплата робіт і виробничих послуг, проведених іншими організаціями. При виконанні цієї дослідницької роботи відповідно до укладених договорів витрати становлять 5000 грн. (табл. 5.3)

Накладні витрати. Накладні витрати для науково-дослідницької роботи визначаються у відсотках від основної зарплатні виконавців у межах

80 - 100%. До них належать витрати, пов’язані з управлінням, утриманням та експлуатацією обладнання та будівель.

Бальна оцінка економічної ефективності науково дослідницької роботи. Наукові дослідження, прямий підрахунок економічної ефективності за якими не можливий, оцінюють за допомогою бальної системи (табл. 5.7 - 5.10). Бальна оцінка проводиться за такими найважливішими показниками:

- важливість розроблення $К_1$;
- можливість використання результатів розроблення $К_2$;
- теоретична значимість і рівень новизни дослідження $К_3$;
- складність розроблення $К_4$.

Таблиця 5.7 – Шкала для оцінки важливості розроблення $К_1$

№ п/п	Показник	Бали
1	Ініціативна робота, що не є частиною комплексної програми, або завданням відомчих органів	1
2	Робота, що виконується за договором про науково-технічну допомогу	3
3	Робота представляє частину відомчої програми	5
4	Робота представляє частину відомчої комплексної програми	7
5	Робота представляє частину міжнародної комплексної програми	8

Таблиця 5.8 – Шкала оцінки можливості використання результатів розроблення $К_2$

№ п/п	Показник	Бали

1	У даному підрозділі	1
2	У даній організації	3
3	У багатьох організаціях	5
4	У масштабах країни	8

Таблиця 5.9 – Шкала оцінки теоретичної значимості й рівня новизни дослідження $К_3$

№ п/п	Показник	Бали
1	Аналіз, узагальнення й класифікація відомої інформації. Подібні результати були відомі в досліджуваній області.	2
2	Одержання нової інформації, що доповнює знання про сутність досліджуваних процесів, не відомої в досліджуваній області.	3
3	Одержання нової інформації, що змінює уявлення про сутність досліджуваних процесів, не відомої раніше.	5
4	Створення нових теорій, методик.	6
5	Одержання інформації, що випливає формуванню напрямків, не відомих раніше.	8

Таблиця 5.10 - Шкала оцінки показників складності дослідження $К_4$

№ п/п	Показник	Бали
1	Робота виконується одним підрозділом, витрати менш 10000 грн	1
2	Робота виконується одним підрозділом, витрати 10000-50000 грн	3
3	Робота виконується одним підрозділом, витрати 50000-100000 грн.	5
4	Робота виконується за участю багатьох підрозділів, витрати 100000-500000 грн.	7
5	Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 500000 грн.	8

Загальна оцінка встановлюється за добутком коефіцієнтів:

$$Б = К_1 \times К_2 \times К_3 \times К_4 \quad (5.4)$$

Питомий ефект (ПЕ) на кожний бал - 2 000 грн.

Загальний ефект (Е) від розробки складає:

$$Е = 2000 \times К_1 \times К_2 \times К_3 \times К_4 \quad (5.5)$$

Загальний ефект для цього дослідження складає:

$$E = 2000 \times 3 \times 5 \times 2 \times 3 = 180\,000.$$

Економічна ефективність науково-дослідницької роботи визначається за допомогою коефіцієнта ефективності, що характеризує частку загального ефекту від розробки, що приходиться на одну грн. витрат (собівартості НДР):

$$К_е = \frac{E}{К_{ндр}} = \frac{180\,000}{43141{,}70} = 4{,}2$$

Економічна ефективність даної науково - дослідної роботи полягає в підвищенні експлуатаційних характеристик циліндричних пружин зі сталі 60С2А за рахунок корегування параметрів термічної обробки та використання поверхневої пластичної деформації, що дозволить підвищити їх надійність та ресурс роботи.

Сталь, що досліджуються в роботі, має більш високі показники границі витривалості порівняно зі звичайними ресорно-пружинними сталями і тому є конкурентоспроможним та може мати попит за межами України. Економічний ефект від використання сталей, зміцнених ППД, складає 4,2 грн на 1 грн витрат.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

- Ураження електричним струмом в результаті порушення правил електробезпеки, несправності обладнання для підготовки дослідницьких зразків може призвести до електричних травм або летального наслідку.

- Термічні опіки внаслідок торкання нагрітих поверхонь обладнання або зразків, знехтування індивідуальними захисними засобами.

- Хімічні опіки внаслідок необережного поводження з травильниками при травлені мікрошліфів.

- Механічні травми при виготовленні зразків для металографічних досліджень структури при використанні обладнання з частинами, що обертаються.

- Незадовільні параметри повітряного середовища на робочому місці через неправильну систему кондиціювання призводять до захворювання органів дихальних шляхів та легенів, а також негативно впливають на шкіру та очі.

- Напруженість праці-характеристика трудового процесу, що пов’язана з навантаженням переважно на центральну нервову систему, органи чуття, емоційну сферу працівника – монотонність,емоційні перевантаження, що може призвести до роздратованості,зниження наснаги на дотримання правил безпеки,втоми та перевтоми, втрати працездатності.

- Незадовільні ергономічні умови робочого місця , внаслідок використання застарілого офісного обладнання, не відповідності параметрів робочого місця антропометричним характеристикам виконавця., що може

призвести до зниження працездатності та пошкоджень опорно-рухового апарату.

- Недостатнє освітлення через вихід з ладу освітлювальних приладів та неправильного їх розміщення впливає на функціонування зорового апарату,тобто визначає зорову працездатність, на психіку людини, її емоційний стан, викликає втому центральної нервової системи, що виникає в результатідокладених зусиль для впізнання чітких чи сумнівних сигналів.

- Можливість загоряння внаслідок порушення правил безпеки чи виходу з ладу обладнання може призвести до пожежі.

- Не правильні дії в надзвичайних ситуаціях через недотримання правил дії при надзвичайних ситуаціях може призвести до паніки.

6.2 Заходи по забезпеченню загальної безпеки

Для запобігання *ураженняелектричним струмом* електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки», ГОСТ 12.2.003-91 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки» и ПУЕ-2007. Експлуатація електрообладнання та електроустановок має проводитися відповідно «Правила технічної експлуатації електроустановок» (ПТЕ), «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачем» та «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачем».

Для забезпечення захисту від *випадкового торкання до струмопровідних частин* необхідно прийняти наступні способи і засоби: захисне огородження; ізоляція струмопровідних частин; захисне відключення; блокування; знаки безпеки. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при торканні до металевих не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою в наслідок

пошкодження ізоляції, застосовують захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалу системи захисних дротів, захисне відключення, ізоляцію не струмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою вище 24 В. засоби індивідуального захисту та ін. Всі металеві частини виробничого обладнання (станини, корпуса, електродвигуни, каркаси пультів керування та ін.), якщо вони можуть опинитися під напругою вище 42 В, мають бути заземленні згідно ПУЕ-2007. Для цього їх оснащують легко оглядним пристроєм заземлення R<4Ом або з'єднують з нульовим дротом.

Для уникнення *хімічних опіків* передбачено:

-зберігання кислот у місцях, де можливе їх стикання з деревиною, та іншими речовинами органічного походження (для нейтралізації випадково розлитих кислот місця їх зберігання необхідно забезпечувати готовими розчинами крейди, вапна або соди);

-під час зберігання азотної та сірчаної кислот треба вжити заходів до недопущення стикання їх з деревиною, та іншими речовинами органічного походження. Концентровану азотну кислоту не дозволяється розливати у скляні сулії.

-під час роботи використовувати гумові рукавиці **ГОСТ 20010-93** «Перчатки резиновые технические. Технические условия», окуляри «Очки защитные» ГОСТ Р 12.4.013-97, респіраторГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток". Технические условия (с Изменениями N 1, 2), спеціальний одяг ГОСТ 12.4.011-89«Средства защиты работающих»;

-мати поблизу нейтралізуючи речовини, аптечку, джерело проточної води;

Заходи безпеки *при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах:*

- установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктований наладчиками;

- перед установкою коло ретельно оглянути на відсутність тріщин;

- користуватися колами, мають тріщини або вибоїни, забороняється. Круги абразивні повинні мати штамп або наклейку про випробування - порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування. Використання кіл без відмітки про випробування забороняється. Дані про випробування кожного кола записуються в журнал випробувань кола;

- у кожного верстата вивішати табличку із зазначенням допустимої роботи окружної швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину;

- обертається абразивний круг, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами;

- підручники повинні мати достатню за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм;

- при заточуванні інструменту не ставати проти поворотного круга. Стояти дозволяється поза небезпекою обертання кола (каменя);

- при роботі на верстаті підводити деталь необхідно плавно, не допускати ударів деталі про коло;

- при виявленні биття кола необхідно зупинити верстат і встановити несправність;

- при заточуванні інструмент надійно тримати в руках, щоб не допустити заклинювання його між підручником і кругом.

Під час роботи заточувальних верстатів не допускається: зачищати коло і торкатися його руками;

- користуватися несправними і невипробуваним колами;

- відкривати захисні кожухи кола, вала, шпинделя, шківа, ременя;

- одягати, знімати і перекладати ролики;

- працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028-82 «Процессы обработки абразивным и эльборовым інструментом»

Напруженість праці визначається згідно ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Для профілактики втоми застосовують скорочену тривалість робочого дня, враховують засоби механізації, автоматизації, застосовують раціональну організацію трудового процесу, максимально скорочують статичні операції, усувають зайві прийоми у роботі і т. ін.

Важливе значення для профілактики втоми має режим праці та відпочинку, що передбачено в КЗпП. Завдяки періодам відпочинку, що регламентується законодавством, працездатність відновлюється, що є функціональною властивістю організму людини.

При обладнанні робочого місця для проведення дослідницьких робіт необхідно враховувати, що конструкція всіх елементів виробничого обладнання, з якими людина в процесі трудової діяльності здійснює безпосередній контакт, повинна відповідати його антропометричним характеристикам, при виконанні робіт в сидячому положенні в конструкцію робочого місця слід включити крісло і підставку для ніг, а також передбачити в конструкції виробничого обладнання простір для розміщення ніг, що дозволяють виконувати роботи при високій посадці працюючого згідно ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Оборудование производственное. Общие эргономические требования. Робоче місце при виконанні робіт в положенні сидячі повинно відповідати вимогам ГОСТ12.2.032-78 Рабочееместо при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования, в положенні стоячи - ГОСТ12.2.033-78Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

6.3 Заходи із забезпечення виробничої санітарії і гігієни праці

Для забезпечення задовільних параметрів *повітряного середовища* робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціювання приміщення згідно ГОСТ 2.2.137-96 «Оборудование для кондиционирования воздуха и вентиляции. Общие требования безопасности», СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование», ГОСТ 30646-99 «Кондиционеры центральне общего назначения. Общие технические условия», ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України ДБН В.2.5–28–2006 «Природне і штучне освітлення», ГОСТ 12.2.007.13-2000 ССБТ «Лампы электрические. Требования безопасности», ГОСТ МЭК 60598-2-2-2002 «Светильники. Часть 2. Частные требования. Раздел 2. Светильники встраиваемые».

При цьому враховується вимога, що при виконанні в приміщеннях робіт I–III, IVа, IVб, IVв, Va розрядів слід застосовувати систему комбінованого освітлення. Використання системи загального освітлення передбачено при технічній неможливості або недоцільності влаштування місцевого освітлення при узгодженні з органами державного санітарного нагляду. При комбінованому освітлені доля загального повинна складати не менше 10%.

В роботі передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площі.

Найбільш точним методом для розрахунку загального рівномірного освітлення, що враховує прямий світловий потік світильників та відбите світло від стін і стелі, вважається метод світлового потоку (або коефіцієнта використання світлового потоку). Метод дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення.

Основними розрахунковим рівнянням методу світлового потоку є:

$$Ф_л = \frac{E_н \cdot S \cdot k_з \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

де $Ф_л$ - розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

$E_н$ - нормоване значення освітленості, лк;

S - площа освітлюваної поверхні, м^2;

$k_з$ - коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

N - загальна кількість світильників;

n - кількість ламп у одному світильнику;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Для розрахунку необхідно визначити площу освітлюваної поверхні, в даному випадку використано приміщення розмірами 5,5*4,6*3(м), тобто площа освітлюваної поверхні 25,3 м^2.

- Вибираємо систему освітлення: для приміщень лабораторного типу використовується комбіноване освітлення.

- Визначаємо рівень нормованої освітленості ($E_н$) в залежності від найменшого розміру об’єкта розрізнення (від 0,3 до 0,5 мм). Так як робота потребує високої точності, то розряд зорових робіт – III г, $E_н$ = 200 лк.

- Вибираємо джерела світла. Так як в приміщенні замало природного світла, ведуться роботи з дрібними об’єктами, доцільно обрати люмінесцентні лампи денного світла (ЛД).

- Обираємо тип світильника для обраних ламп з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення. Світильники типу НПБ:згідно ГОСТ 14254–80 IP = 21, L/h = 1,4.

- Оцінюємо коефіцієнт запасу та коефіцієнт нерівномірності освітлення: $k_з$ = 1,55; z = 1,1.

- Оцінюємо коефіцієнт відбиття поверхонь приміщення в залежності від виділення пилу у процесі роботи. Так як робоче приміщення – світле, то маємо значення коефіцієнтів: $\rho_с = 70\%$; $\rho_{ст} = 50\%$; $\rho_п = 30\%$.

- Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_р = B/((H\ h)\cdot[L / h]) = 4,6/((3 - 1)\cdot1,4) = 2 \text{ ряди}$$

- Визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = B/N_р = 4,6/2 = 2,3 \text{ м}$$

- Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$H = L_{max}/[L/h] = 2,3/1,4 = 1,6 \text{ м}$$

- Висота звисання світильника від стелі:

$$h_з = H – h_р – h = 3 – 1 - 1,6 = 0,4 \text{ м}$$

- Чисельне значення індексу приміщення:

$$I = A\cdot B/(h\cdot(A+B)) = 5,5\cdot4,6/(1,6\cdot(5,5 + 4,6)) = 1,57$$

-Значення коефіцієнта використання світлового потоку η:

$$\eta = 49\ \% = 4,9$$

-Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні

$$Ф_{\sum} = (Ен\cdot S\cdot k_з\cdot z)/\eta = (200\cdot5,5\cdot4,6\cdot1,55\cdot1,1)/4,9 = 1760 \text{ лм}$$

- Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщені, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = AB/ L_{max}^2 = 5,5*4,6/2,3^2 = 4,7 = 6 \text{ шт}$$

- Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$Ф_л^* = Ф_{\sum}/N_л = 1760 /6 = 293 \text{ лм}$$

де $N_л$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_л = N^*\times n =6*1 = 6 \text{ шт}$$

n – кількість ламп у світильнику

- тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $Ф_л$ – КСЛ, $Ф_л$= 400, потужність 7 Вт

$$M=Ф_л^*/Ф_л=293/400=0,73$$

- Оптимальна кількість світильників у приміщені:

$$N = N^{*} \cdot m = 6 \cdot 0{,}73 = 4{,}38 \text{ шт}$$

- Фактична кількість:

$$N_{ф} = 6 \text{ шт}$$

- Визначаємо розрахункову освітленість $E_р$ у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_р = (Ф_л \cdot N_л \cdot \eta)/(S \cdot k_з \cdot z) = (400 \cdot 6 \cdot 4{,}9)/(5{,}4 \cdot 4{,}6 \cdot 1{,}55 \cdot 1{,}1) = 272{,}6 \text{ лк}$$

- Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\sum} = N_л \cdot P_л = 6 \cdot 7 = 42 \text{ Вт}$$

Для освітлення приміщення необхідно використати 6 світильників типу НПБ по одній лампі КСЛ у кожному, світловий потік кожної лампи $Ф_л$= 400, загальна потужність світильників 42 Вт. Освітленість у приміщенні за таких умов 272,6 лк.

6.4 Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно дотримуватися вимог СНиП 2.01.02-85 «Протипожежні норми проектування будинків та споруд».

Вибір типу та визначення необхідної кількості вогнегасників виконується згідно з залежністю від протипожежної здатності вогнегасників, обмежувальної площі дії, класу пожежі в захищуваному приміщенні.

Розташування обладнання повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.1.004-91 "Пожежна безпека. Загальні вимоги".

Для гасіння загорянь первинний засіб пожежогасіння передбачає один вогнегасник ОУ-5.

6.5 Заходи з цивільної оборони

Найбільшу небезпеку для життєдіяльності виробничого персоналу представляють аварії технічних систем. Причинами аварій можуть бути стихійні лиха, порушення режимів технологічних процесів (недотримання технологічної дисципліни) або правил експлуатації виробничого, енергетичного, транспортного та ін обладнання, а також правил техніки безпеки.

З особливостей небезпечних аварій слідує: захисні заходи і, перш за все, прогнозування, виявлення і періодичний контроль за змінами обстановки, оповіщення персоналу підприємства повинні проводитися з надзвичайно високою оперативністю. Локалізація джерела надходження СДОР в навколишнє середовище має вирішальну роль в попередженні масової поразки людей. Швидке здійснення цієї задачі може направити аварійну ситуацію в контрольоване русло, зменшити викид СДОР і істотно знизити збитки.

Захист від СДОР являє собою комплекс заходів, що здійснюються з метою виключення або максимального послаблення поразки персоналу і збереження його працездатності.

Комплекс заходів по захисту від СДОР включає:

- Інженерно-технічні заходи щодо зберігання і використання СДОР;
- Підготовку сил і засобів для ліквідації хімічно небезпечних аварій;
- Навчання їх порядку і правилам поведінки в умовах виникнення аварій;
- Оповіщення про безпосередню загрозу поразки СДОР;
- Тимчасову евакуацію з небезпечних районів;
- Хімічну розвідку району аварії;
- Пошук і надання медичної допомоги постраждалим;
- Локалізацію та ліквідацію наслідків аварії.

Обсяг і порядок здійснення заходів щодо захисту багато в чому залежать від конкретної обстановки, яка може скластися в результаті аварії, наявність часу, сил і засобів для здійснення заходів з захисту та інших факторів.

Всі заходи щодо захисту відображаються в плані захисту об'єкта, який розробляється завчасно з участю всіх головних фахівців об'єкту. План розробляється, як правило, текстуально з додатком необхідних схем, що вказують розміщення об'єкту, сил і засобів ліквідації наслідків аварії, їх організацію і т.д. Він складається з декількох розділів і визначає підготовку об'єкту до захисту та порядок ліквідації наслідків аварії згідно з ДБН В.1.2-4-2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)».

6.6 Висновки з розділу «Охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»

Для виключення ураження електричним струмом в проекті передбачені організаційні та технічні заходи, які передбачають : проведення навчань з правил електробезпеки, перевірку знань та атестацію персоналу на четверту або третю групу з електробезпеки, експлуатація та ремонт обладнання повинні здійснюватись спеціально підготованим персоналом, використання захисного заземлення та занулення, розташування струмопровідних частин на недоступній висоті.

Для виключення механічних травм при підготуванні зразків на абразивних кругах необхідно щоб, устрій підлокітника повинен знаходитися в правильному положенні, відстань між кругом і підлокітником не перевищувала 3 мм, абразивний круг повинен бути захищений кожухом.

Для уникнення термічних опіків передбачено використання індивідуальних засобів захисту.

Для виключення отримання хімічних опіків при травленні зразків у кислотних або лужних розчинах доцільно використовувати індивідуальні засоби захисту: окуляри захисні для захисту очей, фартухи гумові, рукавиці гумові, чоботи гумові.

Для профілактики втоми застосовують скорочену тривалість робочого дня, враховують засоби механізації, автоматизації, застосовують раціональну організацію трудового процесу, максимально скорочують статичні операції, усувають зайві прийоми у роботі.

При обладнанні робочого місця для проведення дослідницьких робіт необхідно враховувати, що конструкція всіх елементів виробничого обладнання, з якими людина в процесі трудової діяльності здійснює безпосередній контакт, повинна відповідати його антропометричним характеристикам.

Для забезпечення задовільних параметрів повітряного середовища робочого простору (температура, вологість, швидкість переміщення повітряних мас) обов'язковим є кондиціювання приміщення.

Робоче приміщення повинно бути оснащене штучним освітленням, яке рівномірно має заповнювати весь простір. В проекті передбачено визначення необхідного світлового потоку світильників для забезпечення нормованого значення мінімальної освітленості робочої площини.

Для уникнення можливості загорянь необхідно дотримуватись правил протипожежної безпеки. Основними організаційнимизаходами є наявністьінструкцій з пожежної безпеки, планівевакуаціїспівробітників в разіпожежі. Основними технічнимизасобами пожежної безпеки є оснащеннябудівлі пожежним інвентарем і підтримка його в робочому стані, а також первинними засобамипожежегасіння: вогнегасниками, системами сповіщення.

Для забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації необхідною умовою є навчання, проведення інструктажів та тренажів.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз характеристик та особливостей експлуатації пружин автомобілів. Розглянуто основні матеріали, шо використовуються для виготовлення автомобільних пружин, вплив легувальних елементів на їх структуру та властивості, основні методи їх термічної обробки, а також методи підвищення їх характеристик.

2. Проведено детальний аналіз технологічного процесу термообробки циліндричної пружини, можливі дефекти, що виникають при ньому та методи контролю.

3. Розглянуто особливості технологічного процесу виготовлення циліндричної пружини автомобіля.

4. Досліджено вплив параметрів термічної обробки на витривалість пружин. Границя витривалості сталі 60С2А після гартування 870 °С і відпуску при 480 °С (HRC 40 - 42) становить 469 МПа, а після гартування з 960 - 980 °С і відпуску при 480 °С він дорівнює 521 МПа.

5. Показано, що поліпшення властивостей сталі 60С2А може бути забезпечено у разі застосування ізотермічного гартування на нижній бейніт. Границя витривалості після ізотермічного гартування при $N = 10^6$на 50 МПа

вища, ніж після звичайної ТО і становить приблизно 540 МПа. При менших циклах навантажень різниця в значеннях границі витривалості ще більша.

6. Дослідження мікроструктур сталі 60С2А показало, що підвищена втомна міцність сталі після ізотермічного гартування пов’язана з присутністю в структурі підвищених кількостей залишкового аустеніту, який сприяє релаксації або перерозподілу мікронапружень за рахунок пластичної деформації.

7. Застосування відпуску після ізотермічного гартування ще більше підвищує границю витривалості. Границя витривалості на базі 10^6 циклів при випробуванні після подвійної ізотермічної обробки становила571 МПа, а після гартування з відпуском–497 МПа.

8. Досліджено вплив зневуглецювання на втомну міцність пружин. Вже при появі на поверхні зневуглецьованого шару завтовшки 0,03 мм границя витривалості знижується з 520 до 340 МПа, т.т. приблизно на 35%. Подальше збільшення глибини зневуглецьованого шару впливає в меншій мірі на зниження границі витривалості. Температура відпуску практично не впливає на втомну міцність зневуглецьованих пружин.

9. Показано ефективність застосування методів поверхневого пластичного деформування для підвищення витривалості пружин. Вплив дробоструминної обробки при високому навантаженні був незначним. Для проміжних умов приріст втомної міцності був набагато більш виразним. При занадто високій інтенсивності наклепу витривалість знижується.

10. Проаналізовано можливість підвищення втомної міцності зневуглецьованих пружин за допомогою ППД. Коли глибина залягання залишкових стискаючих напружень, викликаних ППД, близька до глибини зневуглецьованого шару, поверхневе зміцнення досить ефективне. Коли глибина зневуглецювання значно перевищує можливу глибину локалізації залишкових напружень, в значній мірі відновити втомну міцність не вдається.

11. Показано доцільність використання ППД для підвищення характеристик пружин автомобіля. Економічний ефект від проведеної роботи складає 4,2 гривні на одну гривню витрат.

12. Для збереження життя та здоров’я працівників лабораторії під час проведення досліджень були запропоновані заходи по забезпеченню техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, з пожежної безпеки та у надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарабасов Н.Д. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций [текст] / Н.Д. Тарабасов, П.Н. Учаев. – М.: Машиностроение, 1983. – 258 с.
2. Иванов М.Н. Детали машин [текст] / М.: Высш. школа, 2000. - 383 с. - 6-е изд., перераб.
3. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроитедя [текст] / А.Г. Косилова, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
4. Решетов Д.Н. Машиностроение. Энциклопедия [текст] / Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 421 с.
5. Иосилевич Г.Б. Детали машин [текст] / Г.Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
6. Черданцев С.В. О влиянии предварительно обжатой пружины на зону нарушения сплошности вокруг цилиндрической полости [текст] / С.В. Черданцев, Н.В. Черданцев // Прикладная механика и техническая физика. – 2005. – Т. 46, № 3. – С. 141 – 148.
7. Околович Г.А. Термическая обработка пружин железнодорожного транспорта [текст] / Г.А. Околович, Д.В. Кураков, Т.Г. Шарикова и др. // Ползуновский альманах. – Барнаул, 2015. - № 2. – С. 141 - 145.
8. Землянушнова Н.Ю. Повышение качества пружин [текст] / Н.Ю. Землянушнова, Ю.М. Тебенко. – Ставрополь: Северо-Кавказский государственный технический университет, 2001. – 93 с.
9. Белов В.В. Изменение упругой характеристики механизма подвески при изменении приведенной свободной длины пружины [текст] / В.В Белов, О.Г. Огнев, Н.Н. Белова // Известия международной академии аграрного образования, 2013. – № 18. - С. 30 – 31
10. Губейдуллин Х.Х. Конструирования, изготовления и использование

пружин различного назначения [текст] / Х.Х. Губейдулин, В.Г. Артемьев, М.В. Воронина и др. – Димитровград: Технологический институт - филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия им. П.А. Столыпина", 2012. – 233 с.

11. Башнин Ю.А. Технология термической обработки [текст] / Ю.А. Башнин, Б.К. Ушаков, А.Г. Секей. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
12. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов / А.И. Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Машиностроение, 1976. – 310 с.
13. Новиков И.И. Теория термической обработки / И.И. Новиков. – М.: Металлургия, 1978. – 386 с.
14. Густов Ю.И. О взаимосвязи относительных показателей прочности и пластичности металлов конструкций и трибосистем [текст] / Ю.И. Густов, И.В. Воронина, А.А. Орехов // Вестник МГСУ. – 2011. - № 8. – С. 176 – 180.
15. Зурнаджи В.И. Влияние мартенсита на кинетику бейнитного превращения в сталях 60С2ХФА и 55С3Г2ХФМБА [текст] / В.И. Зурнаджи, В.Г. Ефременко, М.Н. Брыков и др. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2017. - № 2. – С. 23 - 27.
16. Runov V.V. Elastic and fatigue characteristics of steels 60S2 and 55S2GF [text] / V.V. Runov, V.M. Semenov, A.S. Runova et al. // Metal Science and Heat Treatment. – 1976. - № 18. – P. 95 - 96.
17. Рахштадт А.Г. Пружинные стали и сплавы [текст] / А.Г. Рахштадт. – М.: Металлургия, 1982. – 390 с.
18. Куклин Н.Г. Детали машин [текст] / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина. – Киев: Высшая школа, 1987. – 541 с.
19. Курендаш Р.С. Конструирование пружин [текст] / Р.С. Курендаш. – М: Машгиз, 1958. – 108 с.
20. Натапов Б.С. Термическая обработка металлов [текст] / Б.С. Натапов. –

Киев: Вища школа, 1980. – 282 с.

21. Лахтин Ю.М. Термическая обработка в машиностроении: справочник [текст] / Ю.М. Лахтин, А.Г. Рахштадт. – М.: Машиностроение, 1980. – 776 с.
22. Радчик А.С. Пружины и рессоры [текст] / А.С. Радчик. – Киев: Техника, 1973. – 120 с.
23. Тарабасов Н.Д. Проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций [текст] / Н.Д. Тарабасов, П.Н. Учаев. – М.: Машиностроение, 1983. – 258 с.
24. Землянушнова Н.Ю. Расчет винтовых цилиндрицеских пружин сжатия при контактном заневоливании [текст] / Н.Ю. Землянушнова. - Ставрополь: АРГУС, 2008. – 136 с.
25. Тебенко Ю.М. Анализ методов улучшения качества пружин [текст] / Ю.М. Тебенко, Н.Ю. Землянушнова // Научно-технический центр оборонного комплекса "Компас". – 2005. - № 2. – С. 20 - 26.
26. Попов М.Е. Проектирование операций упрочняющей обработки деталей машин методами ППД [текст] / М.Е. Попов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. - № 7. – С. 11 - 19.
27. Лобанов В.К. Влияние гидропрессования на сопротивление усталости рессорно-пружинных сталей [текст] / В.К. Лобанов, Г.И. Пашкова // Вестник ХНАДУ. – 2010. - № 51. – С. 143 - 146.
28. Лукин Л.Л. К выбору технологических схем и параметров ВТМО при производстве винтовых пружин [текст] / Л.Л. Лукин, Т.В. Ломаева, Л.М. Редькин // Вестник ИГТУ. – 2007. - № 3. – С. 6 - 9.