

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

СИГОВА В.І., РУДЕНКО Л.Ф.

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
ЗМІЩЕННЯ ТА АСУ ТП**
(лабораторні роботи, завдання для
контрольних робіт і ІДЗ)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Суми
Вид-во СумДУ
2008

УДК 621.78 (076)
С 34

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1.4/18-Г-798 від 04.04.2008 р.)*

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор С.Д.Косторний
(Сумський національний аграрний університет);
д-р техн. наук, професор В.М.Радзівський
(Міжнародний інститут компресорного і енергетичного
машинобудування концерну «Укрросметал»);
канд.техн.наук, професор В.С.Іваній
(Сумський державний педагогічний університет)

Сігова В.І., Руденко Л.Ф.

С 34 Технологічні процеси зміцнення та АСУ ТП (лабораторні роботи, завдання для контрольних робіт і ІДЗ):
Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008.
– 197 с.

ISBN 978-966-657-186-4

У навчальному посібнику комплексно подані розділи робочої програми курсу «Технологічні процеси зміцнення та АСУ ТП», який є продовженням курсу «Термічна обробка сталей і сплавів», що викладається у бакалавратурі, методичні вказівки для проведення восьми лабораторних робіт з курсу. Текст кожної роботи містить короткий теоретичний вступ, опис апаратури і методики досліджень результатів експериментів. У кінці кожної лабораторної роботи подані запитання для тестового контролю.

У посібнику містяться методичні вказівки для самостійної роботи з розроблення технологічного процесу і технологічної карти термічної обробки.

У кінці посібника додаються завдання для самостійної роботи з курсу і для контрольних робіт студентів-заочників; відповідно подані довідкові таблиці для вибору режимів термічної обробки.

Навчальний посібник призначений для студентів за фахом «Прикладне матеріалознавство», «Металознавство і термічна обробка», «Матеріалознавство в машинобудуванні»

УДК 621.78 (076)

© В.І.Сігова, Л.Ф.Руденко, 2008

ISBN 978-966-657-186-4 © Вид-во СумДУ, 2008

ЗМІСТ

Робоча програма.....	С. 4
Лабораторна робота 1 «Вибір матеріалу і термічна обробка деталей типу шестерень».....	9
Лабораторна робота 2 «Термічна обробка, структура і властивості підшипникових сталей».....	25
Лабораторна робота 3 «Термічна обробка ресорно-пружинних сталей. Структура і властивості».....	58
Лабораторна робота 4 «Технологія і обладнання для термічної обробки деталей в тракторному і сільськогосподарському машинобудуванні».....	87
Лабораторна робота 5 «Технологія термічної обробки в хімічному машинобудуванні, структура і властивості».....	105
Лабораторна робота 6 «Термічна обробка і мікро-структура зварного шва вуглецевих і легованих сталей».....	124
Лабораторна робота 7 «Вибір матеріалу, термічна обробка, мікроструктура і властивості деталей автомобіля».....	138
Завдання для контрольної роботи (або ОДЗ) з курсу «Технологічні процеси зміцнення і АСУ ТП.....	181
Список літератури.....	196

РОБОЧА ПРОГРАМА

Розділ 1 Мета роботи

Цілі і задачі дисципліни. Основні напрями розвитку і впровадження прогресивних технологічних процесів зміцнення деталей машин. Місце термічної обробки в загальному циклі виробництва.

Література: [2, з. 9-21].

Розділ 2 Загальні принципи побудови технологічних процесів термічної обробки

Тема 2.1 Технічні умови на термічну обробку деталей машин

Тема 2.2 Нормативно-технічні матеріали Держстандарту з питань технологічної підготовки виробництва, якості, контролю властивостей продукції на різних стадіях її виготовлення

Тема 2.3 Проектування процесів термічної обробки, їх типізація

Тема 2.4 Економічне обґрунтування вибору технологічного процесу термічної обробки.

Література: [1, с. 63-79].

Розділ 3 Вплив термічної обробки на конструктивну міцність сталей і сплавів

Література: [1, с. 5-18].

Розділ 4 Контрольовані атмосфери, вживані при термічній обробці

Тема 4.1 Характеристика контрольованих атмосфер

Тема 4.2 Вимоги технологічних процесів і рекомендації застосування контрольованих атмосфер

Тема 4.3 Безпека при роботі з контрольованими атмосферами

Література: [1, с. 123-166].

Розділ 5 Автоматизація процесів термічної обробки (АСУ ТП)

Тема 5.1 Основні види автоматизованих систем управління технологічними процесами термічної і хіміко-термічної обробки

Тема 5.2 Прилади систем автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу контрольованих систем

Тема 5.3 Прилади контролю і регулювання температури режиму печей

Тема 5.4 Механізація і автоматизація завантажувальних і розвантажувальних робіт. Застосування в процесах термічної обробки автоматичних ліній

Література: [1, с. 424-446].

Розділ 6 Технологія попередньої термічної обробки

Тема 6.1 Класифікація попередньої термічної обробки, технологічні задачі і шляхи їх реалізації

Тема 6.2 Технологія термічної обробки зливків і безперервно литих заготовок

Тема 6.3 Основи технології термічної обробки великогабаритних поковок і виробів; кінетика фазових перетворень; водень у великих поковках; протифлокенна термічна обробка

Тема 6.4 Технологія термічної обробки сортового прокату загального призначення; інструментальних вуглецевих, легованих, конструкційних і каліброваних сталей

Тема 6.5 Попередня термічна обробка для поліпшення оброблюваності різанням; для підвищення точності розмірів готових деталей

Література: [1, с. 188-208].

Розділ 7 Основи технології термічної обробки зварних з'єднань

Тема 7.1 Термічна обробка зварних з'єднань, способи нагріву; структурні перетворення в зоні зварного шва.

Література: [1, с. 406-422].

Розділ 8 Технологія термічної обробки в автомобілебудуванні, тракторному і сільськогосподарському машинобудуванні

Тема 8.1 Термічна обробка колінчастих і розподільних валів двигунів внутрішнього згорання

Тема 8.2 Технологія термічної обробки деталей трансмісії: півосей, хрестовин карданних передач, картерів ведучих мостів

Тема 8.3 Технологія термічної обробки шестерень із низьковуглецевої, легованої сталі методами ХТО: шестерень, зміцнюваних з поверхневим нагрівом і об'ємним гартуванням

Тема 8.4 Технологія термічної обробки деталей підшипників кочення; об'ємно-поверхнєве гартування деталей залізобетонних підшипників, підшипників із цементуючих корозійностійких і теплостійких сталей

Тема 8.5 Технологія термічної обробки пружних елементів пружин і ресор. Пружин із сталей загального призначення, зміцнюваних гартуванням + відпусканням; пластичною деформацією. Термомеханічна обробка ресор

Тема 8.6 Термічна обробка деталей ґрунтообробних машин і ходової частини тракторів

Література: [2, с. 266-274], [2, с. 277-282], [2, с. 284-301], [2, с. 303-326], [2, с. 327-344], [2, с. 563-585].

Розділ 9 Технологія термічної обробки деталей у важкому машинобудуванні: великих деталей енергоагрегатів; ковальсько-пресового устаткування

Література: [1, с. 625-656].

Розділ 10 **Технологія термічної обробки в хімічному машинобудуванні: апаратів з вуглецевої, низьковуглецевої і корозійностійких сталей**

Література: [1, с. 663-666].

Розділ 11 **Технологія термічної обробки в приладобудуванні: деталей приладів, пружних елементів, деталей з магнітних сталей**

Література: [1, с. 680-706].

Розділ 12 **Технологія термічної обробки валів холодного плющення**

Література: [2, с. 230-235].

Розділ 13 **Технологія термічної обробки валів роторів турбогенераторів**

Література: [2, с. 237-243].

Розділ 14 **Технологія термічної обробки деталей насосного устаткування**

Література: [2, с. 266-274].

Розділ 15 **Технологія термічної обробки труб. Вимоги, що ставляться до сталей**

Тема 15.1 Технологія термічної обробки труб для видобутку нафти і газу, магістральних нафто- і газопроводів

Тема 15.2 Технологія термічної обробки труб для теплоенергетики.

Література: [2, с. 213-221]

Розділ 16 **Термічна обробка залізничних коліс і рейок**

Тема 16.1 Вимоги, що ставляться до сталей для виготовлення суцільнокатаних коліс і їх зміцнююча термічна обробка

Тема 16.2 Сталі для виготовлення рейок; протифлокена і зміцнююча обробка рейок

Література: [2, с. 176-184].

Розділ 17 Зміцнююча технологія термічної обробки прокату

Тема 17.1 Термічна обробка листового прокату з вуглецевих і легованих сталей.

Тема 17.2 Технологія термічної обробки арматурних сталей.

Тема 17.3 Технологія термічної обробки фасонних профілів прокату.

Тема 17.4 Технологія термічної обробки бурових штанг.

Тема 17.5 Технологія термічної обробки сталевих катанних помольних куль.

Література: [2, с. 200-211], [2, с. 190-198].

Лабораторна робота 1
«Вибір матеріалу і термічна обробка
деталей типу шестерень»
(тривалість роботи - 6 год)

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Навчити студентів вибирати сталі для виготовлення деталей зубчастих зачеплень, технологічний режим їх зміцнення з урахуванням умов експлуатації.

1.2 Відповідно до вибраного технологічного процесу зміцнення підібрати обладнання, прилади і допоміжні матеріали для проведення процесу.

1.3 Навчити студентів проводити гартування шестерень малого і великого модулів з використанням струмів високої частоти або хіміко-термічної обробки.

2 ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ ТА ІНСТРУМЕНТ

2.1 Цементацийна шахтна електропіч або установка СВЧ з ламповим або машинним генератором. Гартівна піч.

2.2 Цементацийні ящики .

2.3 Карбюризатори: деревний або газовий.

2.4 Індуктори для нагріву деталей СВЧ, прилади для укладання при цементациї в деревному вугіллі і при гартуванні.

2.5 Гартівні баки з водою і маслом.

2.6 Деталі шестерні і зразки-свідки.

2.7 Твердомір ТК2, таровані напилки.

2.8 Електрозаточний верстат.

2.9 Шліфувально-полірувальні верстати для виготовлення мікрошліфів.

2.10 Металографічний мікроскоп .

2.11 Спиртний 3-4% протравлювач H_2SO_4 .

2.12 Гігроскопічна вата і фільтрувальний папір.

3 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

3.1 Критерії працездатності зубчастих коліс

Зубчасті колеса належать до одних із найпоширеніших і складних у конструктивному і технологічному відношенні деталей машин. Їх функціональне призначення - передача крутного моменту.

Зуби шестерні в процесі експлуатації машин піддаються:

1) згину при прикладенні максимального крутного моменту або при різкому гальмуванні, внаслідок чого може відбуватися руйнування в ніжці зуба по галтелі;

2) згину при багатократних циклічних навантаженнях, що викликають втомне руйнування зуба в небезпечному перетині в ніжці зуба;

3) контактним напруженням на робочій поверхні в зоні зачеплення зубів, внаслідок чого розвивається пінтинг на поверхні;

4) зносу торцевих поверхонь при перемиканні передач.

Основним критерієм працездатності шестерень є: контактна витривалість, витривалість при згині, стійкість до зношування і заїдання.

Контактна витривалість - здатність матеріалу протистояти розвитку втомного фарбування, яке є основним видом поверхневого руйнування зубів. Воно характерне для більшості закритих, добре змащуваних передач.

Викришування виникає і розвивається поблизу полюсної лінії на ніжках зубів (рис.1).

Руйнування починається з утворення в приповерхневому шарі мікротріщин втоми.

Після виходу тріщин на поверхню їх розвиток істотно швидшає розклинюючою дією мастила.

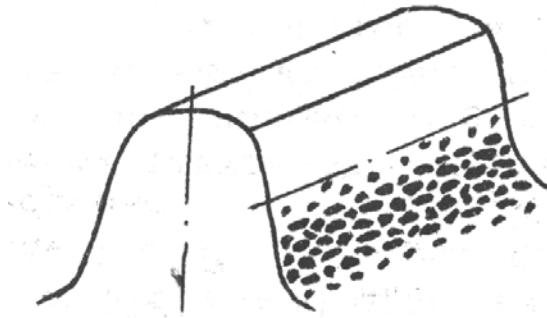


Рисунок 1 - Викришування матеріалу на поверхні зуба

Поглиблення тріщини закінчується відколюванням шматочків металу і утворенням ямок. Ямки поступово перетворюються на раковини.

Підвищення контактної витривалості базується на збільшенні опору поверхневого шару зубів розвитку пластичної деформації, його твердості.

Витривалість зубів при згині - здатність матеріалу протистояти втомній поломці зуба. Тріщина втоми, як правило, виникає біля основи зуба. До зниження міцності зубів при згині призводять залишкові напруження розтягування, що утворюються при шліфуванні западини зуба.

Опір зношуванню зубів слабшає головним чином за відсутності або поганому змащуванні. Якщо товщина масляного шару нижча за висоту мікронерівностей, то відбувається зіткнення поверхонь зубів, що сполучаються, по гребінцях і їх зношування під впливом сили тертя. Швидкість зношування зростає із збільшенням тиску, швидкості ковзання, особливо із збільшенням величини шорсткості поверхні і зниження твердості. Інтенсивне зношування викликає спотворення профілю зуба (рис.2).

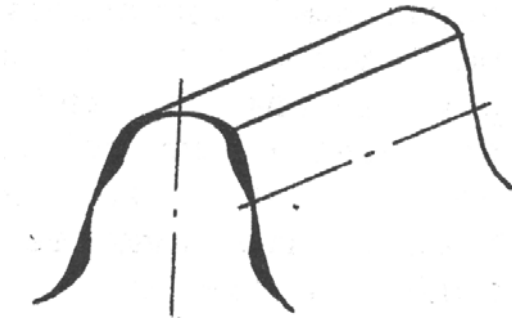


Рисунок 2 - Вид зносу поверхні зуба

Опір заїданню - адгезійне зношування полягає в розвитку інтенсивного схоплювання і виривання частинок металу з їх перенесенням на поверхню зв'язаного зуба. Вирвані частинки повторно схоплюються, борознять поверхні, що труться, і викликають їх швидке і інтенсивне руйнування. До заїдання найбільш схильні незагартовані поверхні. Загартовані поверхні під впливом нагріву при терті також здатні відпускатися і знеміцнюватись. Тому для високонавантажених і високошвидкісних передач рекомендується застосування теплостійких сталей з високою твердістю поверхні.

3.2 Матеріали, що застосовуються для зубчастих коліс, їх термічна і хіміко-термічна обробка

Найвищу працездатність зубчастих коліс забезпечують сталі. Рідше застосовуються чавуни і пластмаси. Залежно від умов експлуатації і необхідної твердості поверхні застосовувані сталі підрозділяються на дві групи:

1) сталі, що застосовуються без зміцнення поверхнього шару; з однаковою твердістю по перетину зуба при HRC 28-45;

2) із зміцненим поверхневим шаром до HRC 55-63 і в'язкою серцевиною з HRC 28-40.

Першу групу утворюють середньовуглецеві, поліпшувані нормалізовані й об'ємно гартовані сталі. Вони значно поступаються сталям другої групи за здатністю навантаження, але перевершують їх за технологічністю, допускають чистове точіння і нарізання зубів після термообробки, що істотно полегшує виготовлення коліс. Крім того, вони не схильні до крихкого руйнування при динамічних навантаженнях.

Поліпшувані сталі застосовують для мало- і середньо-навантажених передач і для коліс в допоміжних механізмах, наприклад, в механізмах ручного управління сталі піддають гартуванню і високому відпуску або просто нормалізації. Структура після термополіпшення – сорбіт, HRC 28-32. Після нормалізації - перліт + ферит.

Після об'ємного гартування і низького відпуску колеса мають структуру мартенсит з твердістю HRC 40-45.

Другу групу утворюють низьковуглецеві сталі, що піддаються цементації або нітроцементації, потім гартуванню і низькому відпуску; середньовуглецеві сталі, зміцнювані азотуванням або поверхневим гартуванням. Маючи велику перевагу, цементовані і нітроцементовані шестерні мають і значні недоліки: термічна обробка викликає значну деформацію зубів, що вимагає згодом шліфування, притирання або обкатки і відповідно спеціальне обладнання.

У табл. 1 наведені представники обох груп.

Таблиця 1 – Сталі, що застосовуються для виготовлення деталей зубчастих зачеплень

Група сталей	Марка сталі	Властивості		Недоліки і призначення
		експлуатаційні	технологічна і економічна доцільність	
1	2	3	4	5
1 Без зміцнення поверхневого шару, HRC 28-45				
Поліпшувані вуглецеві і леговані	40, 45, 50, 50Г, 40Х, 40ХН, 45ХН, 35ХГСА, 35ХМА, 40ХФА, 30ХНЗА	Низькі: контактна витривалість, витривалість при згині, стійкість до заїдання, зносостійкість, можливість змінання поверхні зуба, добре протистоять ударним навантаженням	Технологічні: допускають нарізання зуба після термообробки, низька вартість виготовлення	Застосовуються в мало- і середньонавантажених передачах, загального редуکتбудування великих габаритів і маси
2 Із зміцненим поверхневим шаром до HRC 55-63 і в'язкою серцевиною HRC 28-35				
Цементовані: низьковуглецеві, теплостійкі, складнолеговані	12ХН4А, 20Х3МВФА, 18Х2Н4ВА, 18ХНВА, 15Х2ГНТРА	Найбільша контактна витривалість при згині. Робочі температури до $\leq 300^{\circ}\text{C}$. Висока стійкість до заїдання і зношування. Високі ударна в'язкість і міцність серцевини	Висока прогартовуваність (до 100 мм і більш)	Висока вартість матеріалу і виготовлення, необхідність зубошліфування. Застосовуються у високошвидкісних і напружених передачах. Точність виготовлення 4-7-го ступенів

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Нітроцементовані: економнолеговані	18ХГТ, 30ХГТ, 30ХГР, 25ХГМ, 20ХНМ, 20ХНР	Робочі температури до $\leq 150^{\circ}\text{C}$; висока зносостійкість і міцність серцевини. Відносно хороша ударна в'язкість	Спрощена технологія обробки	Застосовуються частіше в нешліфованих зубчастих колесах при масовому виробництві. Точність виготовлення 8-9-го ступенів
Цементовані і нітроцементовані: низьколеговані	15Х, 15ХФ, 20Х, 20ХР, АС12ХН, АС19ХГН	Робочі температури до $\leq 100^{\circ}\text{C}$; висока зносостійкість, невисокі міцність і в'язкість серцевини	Обмежена прогартуваність (до 30 мм), хороша оброблюваність різанням	Обмежені допустимі навантаження і розміри коліс, частіше застосовуються в с/г машинобудуванні
Що азотуються: середньовуглецеві, леговані	38Х2МЮА, 35ХЮА, 38ХМЮА	Робочі температури до $\leq 500^{\circ}\text{C}$. Найвищі теплостійкість, стійкість до заїдання і зносостійкість	Мінімальна деформація. Точність виготовлення 6-7-го ступенів. Високі антикорозійні властивості	Мала товщина азотованого шару – можливість продавлювання. Використовуються в зачепленому з обмеженими навантаженнями
Поверхнево-гартовані СВЧ	40, 45Х, 40ХН, 45ХН, 30ХМА	Робочі температури до $\leq 150^{\circ}\text{C}$. Середня і висока зносостійкість. Відносно висока ударна в'язкість незагартованої серцевини	Скорочений цикл обробки без зубшліфування, невеликі деформації. Точність виготовлення 8-9-го ступенів.	Використовуються в середньонавантажених зубчастих колесах верстатів, автомобілів і ін.
З регламентованою прогартуваністю	55ПП			

3.3 Термічна обробка деталей типу шестерень

Для забезпечення надійності і тривалості роботи шестерень особливе значення має правильний вибір сталі для їх виготовлення і термічної обробки з урахуванням умов експлуатації.

3.3.1 Сталі першої групи піддають термополіпшенню із стандартних температур для кожної марки сталі.

3.3.2 Сталі другої групи: цементовані і нітроцементовані рекомендується піддавати дифузійному насиченню вуглецем і С+N при температурах 900-920° і 860-880°С відповідно на глибину 0,2-0,3 радіуса зразка (або зуба) від 0,8 до 1,5 мм. Вміст вуглецю в цементованому шарі 0,8-1,0%, в нітроцементованому - 0,5-0,7% вуглецю і 0,3-0,4% азоту.

На деяких заводах застосовується швидкісна цементація шестерень із застосуванням для нагріву при цементації струмів високої частоти в спеціальному індукторі при температурі 1000-1050°С.

На рис.3 зображений агрегат періодичної дії для швидкісної цементації при індукційному нагріві. Він є камерою, що герметизується, з багатовитковим індуктором, усередині якого знаходяться цементовані деталі. Карбюризатором може бути газ, можна також уприскувати в нагріту реторту рідкий карбюризатор (керосин, синтін, тріетаноламін).

У робочій зоні агрегату можна помістити від 10 до 20 шестерень. Час цементації залежно від необхідної глибини - 30-40 хв.

Після закінчення цементації шестерні гартують або після підступжування, або після повторного нагріву (можливо) струмами високої частоти.

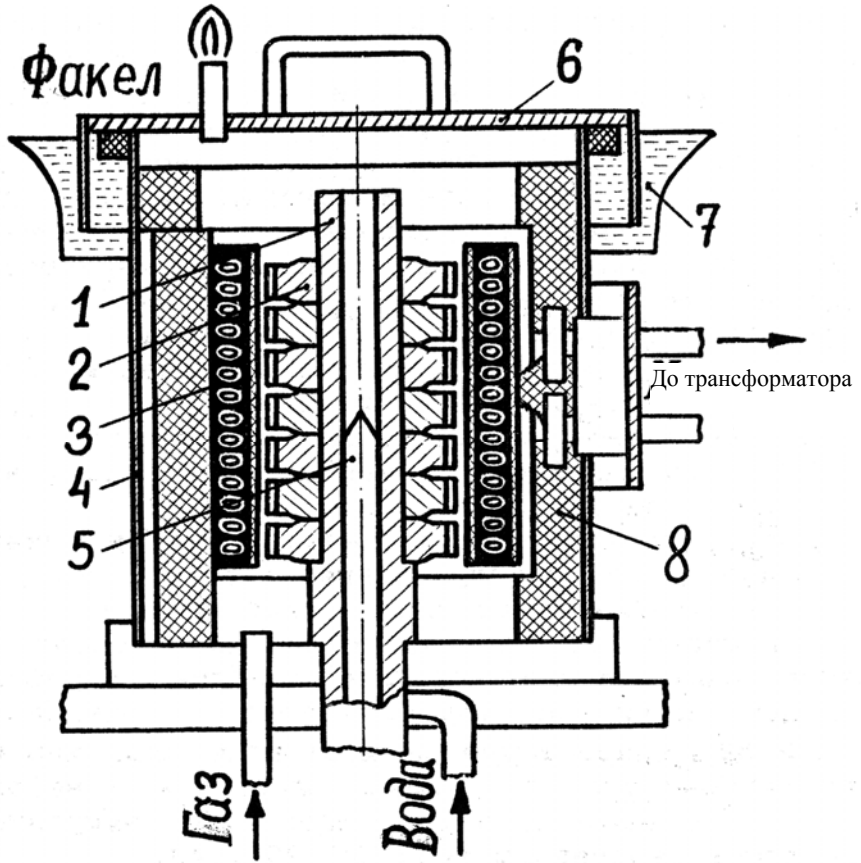


Рисунок 3 - Агрегат періодичної дії для швидкісної цементації з нагріванням струмами високої частоти: 1 - циліндровий стержень; 2 - деталі; 3 – індукційний нагрівач; 4 - кожух печі; 5 – центруючий шпindel; 6 - кришка; 7 - герметичний затвор; 8 - керамічний ізолятор

Рекомендуються для відповідальних і особливо відповідальних деталей подвійне гартування, обробка холодом і низький відпуск.

Твердість поверхні $HRC \geq 58$. Мікроструктура мартенсит плюс карбіди або карбонітриди легуючих елементів і невелика (2-3%) кількість залишкового аустеніту. Твердість серцевини зуба $HRC 25-40$.

Застосування швидкісної цементації при індукційному нагріві дозволяє вбудувати цей процес в потік механічної обробки, а також виконувати цементацію в умовах автоматичних ліній цеху.

Для швидкісної цементації застосовуються сталі із спадково м'яким зерном, оскільки температура цементації з нагрівом СВЧ на $100-150^\circ$ вища за звичну.

3.3.3 Азотовані сталі піддають в заготовці термопідпівшенню, остаточно готові шестерні - азотизації при температурі $500-600^\circ\text{C}$ на глибину $0,2-0,3$ мм. Твердість поверхневого шару $HV 1000-1200$; серцевини - $HRC 28-32$.

У даній лабораторній роботі детальніше розглядається зміцнення деталей типу шестерень з нагрівом струмами високої частоти.

3.3.4 Гартування шестерень з нагрівом струмами високої частоти (СВЧ) набуло значного поширення у виробничій практиці як найпрогресивніший економічно вигідний, високо продуктивний процес термообробки.

Застосовуються два методи гартування з нагрівом СВЧ:

- 1) з наскрізним прогріванням зуба;
- 2) контурне гартування.

При гартуванні з наскрізним прогріванням (рис.4 а, б) в індукторі нагріваються, а потім охолоджуються відразу всі зуби шестерень невеликого модуля ($m < 4$). Зуби прожарюються наскрізь. На деяку глибину (до 5 мм) гартується і обід колеса. Твердість поверхні після низького від-

пуску ≤ 60 HRC. Цей метод застосовується при гартуванні малонавантажених зубчастих коліс, оскільки зуби прожарюються наскрізь і можливі його поломки в експлуатації від втоми при дії змінних напружень.

При контурному гартуванні з нагрівом СВЧ гартування дрібномодульних шестерень проводять на двох частотах. Спочатку шестерні нагрівають протягом 3-5 з в індукторі з частотою струму 1000-10000 Гц від машинного генератора, щоб прогріти западини між зубами; потім в індукторі, живленому від лампового генератора з частотою 200000-400000 Гц з потужністю 300-400 кВт. Це забезпечує протягом 0,5-0,7 с додатковий нагрів шестерень по ободу зуба.

Великогабаритні, багатомодульні зубчасті колеса ($m \geq 10-50$ мм) гартують методами «зуб за зубом» (рис.4 а) або «по западині» (мал. 4 би) одночасним або безперервно-послідовним способами.

При гартуванні «зуб за зубом» прогрівається контур бокової поверхні зуба до його ніжки.

При гартуванні «по западині» індуктор вводиться між зубами із зазором 2-2,5 мм; при цьому нагріваються западина і обидві бокові поверхні зуба. Далі індуктор виводиться із западини, і через спреєр охолоджується нагріта частина, після чого вводиться індуктор для нагріву наступної частини. У такий спосіб гартують зуби шестерень, зубчастих коліс вагою до 15000 кг, з шириною вінця до 1000 мм, числа зубів до 500 і модулем до 50 мм, забезпечуючи глибину загартованого шару від 1 до 10 мм залежно від габаритів колеса.

Після гартування і низького відпуску твердість поверхневого шару ≥ 60 HRC.

Для великогабаритних шестерень найчастіше застосовується гартування з самовідпуском за рахунок внутрішнього залишкового тепла виробу.

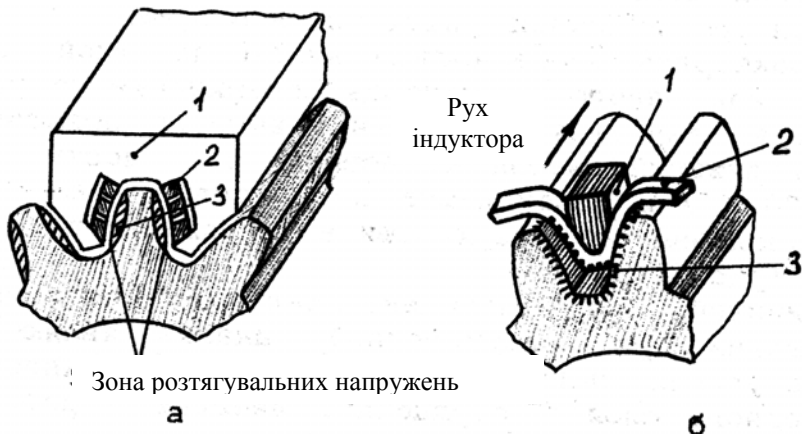


Рисунок 4 - Схеми гартування зубчастих коліс: а - «зуб за зубом»; б) - «по западині» (1 - магнітопровід; 2 - індуктор; 3 - нагрітий шар)

Для того, щоб забезпечити контурне гартування великих коліс, застосовують безперервно-послідовний метод нагріву зубів; для зосередження магнітного потоку, спрямованій концентрації в індукторі використовують залізний магнітний ланцюг, що складається з набору ізольованих пластин електротехнічної сталі або феритів, названу магнітопроводом (рис.4 б).

3.3.5 Структура і властивості сталей після високо-частотного гартування

Перетворення перлітоферитної структури в аустеніт при високій швидкості індукційного нагріву також як і при звичному нагріві в печі, відбувається дифузійним шляхом.

У результаті завдяки високій швидкості індукційного нагріву аустеніт виходить надзвичайно дрібнозернистим і неоднорідним за змістом вуглецю і інших домішок, внаслідок чого мартенсит при гартуванні виходить дрібно-голчастим або безструктурним. Іноді такий мартенсит називають прихованокристалічним або безголчастим, що

мають підвищену твердість, міцність і зносостійкість, що пояснюється подрібненістю його блоків мозаїки, великою кількістю дислокацій, наявністю дрібнодисперсних карбідів. Під мартенситною структурою розташовується перехідна структура до вихідної.

Вибір найбільш відповідної температури високочастотного гартування при відповідній швидкості нагріву звичайно проводиться досвідченим шляхом.

Характерною особливістю високочастотного гартування, як одного з методів поверхневого зміцнення є утворення високих залишкових напружень стиснення на поверхні, що досягають 800 МПа і перехідних в перехідному шарі у міру віддалення від поверхні в напруження розтягування (рис.5).

Причиною утворення значних залишкових напружень при поверхневому гартуванні є різні умови нагріву і охолодження поверхні перехідного шару і серцевини деталей і різночасність фазових перетворень.

Все це викликає неоднорідну пластичну деформацію по перетину деталі і залишкові напруження. При нагріві зовнішній шар виробу деформується, а холодна жорстка серцевина зберігає свої розміри. Після охолодження на поверхні утворюються термічні напруження стиснення і у відповідь напруження розтягування в серцевині, що зберегла свої розміри. Мартенситне перетворення викликає збільшення об'єму поверхневого шару, утворює в ньому після охолодження залишкові структурні напруження стиснення, які врівноважуються напруженнями розтягування в серцевині. Термічне і структурні напруження підсумовуються (рис.5).

У разі виходу перехідного шару з напруженнями розтягування на поверхню деталі, особливо в небезпечному перетині (наприклад, поблизу основи зуба шестерні), вони знижують межу витривалості і можуть бути причиною поломки виробу. Тому всім виробам, підданим гартуванню СВЧ, необхідно проводити низьке відпускання для зняття

напруження. Невідповідальні деталі при високій кваліфікації терміста можна піддавати самовідпуску.

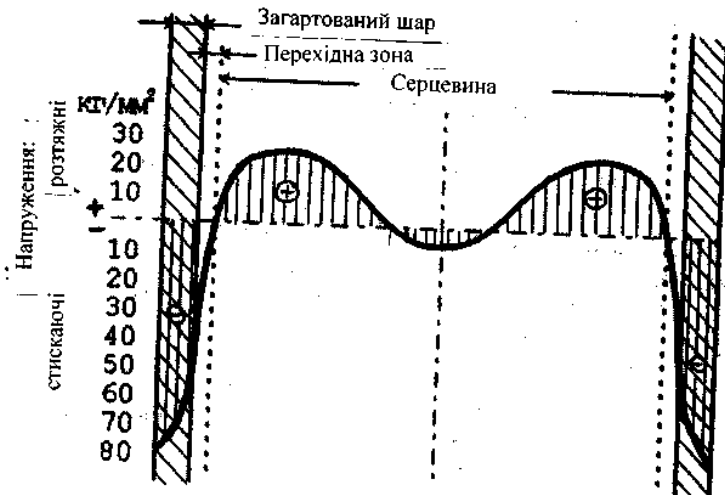


Рисунок 5 - Розподіл залишкових напружень у виробі після високочастотного гартування і низького відпуску

4 ЗАВДАННЯ НА ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1 Вивчити короткі теоретичні положення.

4.2 Отримати завдання у викладача щодо вибору матеріалу на виготовлення шестерні (зірочки і т.д.) залежно від умов їх експлуатації. Вибір матеріалу обґрунтувати.

4.3 Отримати у викладача або майстра термічної ділянки філії кафедри зразки або деталі зубчастих зачеплень виробничої партії, визначити метод індукційного нагріву даної деталі, підібрати індуктор, режими нагріву, загартувати і відпустити її.

4.4 Досліджувати мікроструктуру і твердість зразків або деталей після високочастотного гартування.

4.5 Скласти письмовий звіт і захистити його.

5 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

5.1 Опишіть призначення зубчастих коліс у вузлах машин і агрегатів.

5.2 Яким механічним діям піддаються шестерні в процесі експлуатації?

5.3 Назвіть основні критерії працездатності шестерень.

5.4 Що таке контактна витривалість і як можна її підвищити?

5.5 Що таке витривалість зубів при згині і як можна її підвищити?

5.6 Від яких факторів залежить зносостійкість зубчастих зачеплень?

5.7 Які матеріали використовують для виготовлення деталей зубчастих зачеплень?

5.8 Які сталі застосовуються для виготовлення шестерень високошвидкісних ступенів передач?

5.9 Які сталі застосовуються для виготовлення коліс з високою контактною витривалістю?

5.10 Назвіть маршрутну технологію при виготовленні зубчастих коліс для отримання твердості $HV \geq 1000$.

5.11 Яка термічна обробка забезпечує працездатність шестерень при температурі 500°C ?

5.12 Назвіть основні переваги термообробки шестерень з індукційним нагрівом.

5.13 Назвіть температуру гартування з нагрівом струмами високої частоти сталі У7А.

5.14 В яких умовах експлуатації працюють зубчасті зачеплення, термооброблювані на твердість HRC 28-32?

5.15 Якому виду відпуску піддають цементовані деталі і чому?

5.16 Назвіть частоту струму машинних генераторів.

5.17 Поясніть технологію гартування шестерень малого модуля ($m \leq 5$) для забезпечення контурного гартування.

5.18 Поясніть метод індукційного гартування «зуб за зубом».

5.19 Поясніть метод контурного гартування «по западині».

5.20 Які напруження сприятливі в поверхневих шарах деталей, загартованих з нагрівом СВЧ?

5.21 Які напруження викликають руйнування в небезпечних перетинах зубчастого колеса?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. -М.: Машгиз, 1958. -431 с.

2. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов. -М.: Машгиз, 1962. -427 с.

3. Асонов А.Д. Технология термической обработки деталей автомобиля. -М.: Машгиз, 1958. -464 с.

4. Фогель А.А. Промышленное применение токов высокой частоты. -М.: Машиностроение, 1965. -75 с.

Лабораторна робота 2
«Термічна обробка, структура і властивості
підшипникових сталей»
(тривалість роботи - 8 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити теоретичні положення термічної обробки підшипникових сталей і сплавів.

1.2 Навчитися розробляти технологічний процес термічної обробки деталей підшипників і проводити їх термічну обробку.

1.3 Досліджувати мікроструктуру і властивості деталей після термічної обробки.

2 ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТ

2.1 Лабораторні електропечі з температурою 1280, 900, 160⁰С.

2.2 Прилади та інструмент для упаковки, завантаження і вивантаження деталей (піддони, кліщі, стакани).

2.3 Зразки марок сталей або деталі підшипників для термічної обробки.

2.4 Гартівні баки (масло, вода).

2.5 Установка і прилади для приготування мікрошліфів.

2.6 Мікроразки і реактиви для травлення мікрошліфів, прилади.

2.7 Металографічні мікроскопи – 5 шт.

2.8 Шкали мікроструктур за ГОСТом 801-78.

3 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Умови роботи підшипників характеризуються складним комплексом напружень в металі, що виникають.

Підшипникова сталь повинна мати високу твердість, зносостійкість і контактну витривалість, а також високу в'язкість і міцність, що визначає здатність деталей протистояти значним статичним і динамічним навантаженням і в процесі експлуатації не змінювати геометричні параметри.

Серед безлічі факторів, що знижують довговічність підшипникової сталі, найбільш небезпечними вважаються неметалічні включення, карбідна ліквіація, карбідна або цементитна сітка, структурна смужкуватість.

Несприятлива дія неметалічних включень на **втомні** властивості сталі залежить від їх кількості, величини, природи і розподілу в металі.

Контактна витривалість значно зменшується з підвищенням в металі вмісту кисню і неоднорідністю карбіду.

Регламентується мікроструктура підшипникової сталі і в готовому виробі вона повинна відповідати ГОСТу 801-78.

Для важконавантажених підшипників з метою зменшення неметалічних включень, отримання щільнішого і хімічно одноріднішого металу його піддають **електрошлаковій** або **вакуумно-дуговій переплавці**.

На довговічність підшипників значно впливає **прогартовуваність** сталей.

Перелік сталей, що застосовуються для виготовлення деталей підшипників, поданий у табл. 1.

Таблиця 1 - Перелік сталей, що застосовуються для виготовлення деталей підшипників

Характеристика сталі	Марка Сталі	Характеристика сталі	Марка сталі
Високовуглецеві, основні ГОСТ 801-75	ШХ15 ШХ15СГ ШХ20СГ	Середньовуглецеві для гартування СВЧ ГОСТ 801-78 ГОСТ 808-70 ГОСТ 4543-71	ШХ4 ШХ10 50ХН
Підвищеної прогартовуваності ТУ 14-1-718-73	ШХ15	Кремніємолібденові основні ТУ 14-1-1338-75	55СМ5ФА
З нормованою смужкуватістю структури ТУ 14-1-1819-76	ШХ15 ШХ15СГ	Підвищеної чистоти ТУ 14-1-2666-79	55СМ5ФА-ШД 55СМ5ФА-ВД
Підвищеної чистоти ГОСТ 801-75 ГОСТ 21022-75	ШХ15-Ш ШХ15СГ-Ш ШХ15-ШД	Цементовані основні ГОСТ 4543-71	20Х2Н4Р 18ХГТ 15Г1
Теплостійкі підвищеної чистоти ТУ 14-1-2244-77	8Х4В9Ф2-Ш 8Х4В9Ф2-ВД 8Х4М4В2Ф1-Ш	Підвищеної чистоти ТУ-14-1-1433-75 Корозійностійкі ГОСТ 5632-72 Підвищеної чистоти ТУ 14-1-595-73	20Х2Н4А-Ш 95Х18 95Х18Ш 11Х18М-ШД

4 СПОСОБИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ

Однією із складових частин підшипників є внутрішні і зовнішні кільця, кульки або ролики.

4.1 Для виготовлення кілець підшипників вихідним матеріалом служать поковки (кільцеві заготовки), труби і прутки.

Кільця отримують штампуванням на горизонтально-кувальних машинах. З метою отримання точніших розмірів і економії металу штампування або поковки (після прошивки отворів) піддають профільному розкочуванню в гарячому стані.

Кільця, що виготовляються з труб, також піддають профільному розкочуванню.

Гаряче розкочування ущільнює метал і додає волокнам направлення вздовж робочої поверхні доріжки кочення.

З прутків виготовляються кільця на металорізальних верстатах для підшипників малих розмірів, де забезпечується точна геометрія з малими допусками на розміри.

Кільця карданних підшипників виготовляють **методом холодного видавлювання**.

Кільця з корозійностійких і теплостійких сталей отримують **виточуванням з прутка** кільцевих заготовок з подальшим розкочуванням у гарячому стані **або куванням на молотах** з подальшим розкочуванням.

Всі операції, пов'язані з штампуванням, куванням, розкочуванням, проводяться у гарячому стані. Режими гарячої деформації підшипникових сталей наведені в табл. 2.

Всі операції, пов'язані з холодним штампуванням, обробкою на металорізальних верстатах, проводяться на металі у відпаленому стані.

Другою складовою частиною шарикопідшипників є **кульки або ролики**. Ролики можуть бути циліндрові, конічні, бочкоподібні і голчасті.

Таблиця 2 – Температурні режими гарячої деформації підшипникових сталей

Марка сталі	Деталь підшипників	Метод деформації	Оптимальні режими нагріву, 0С		Примітка
			початок	закінчення	
ШХ15, ШХ15СГ 20Х2Н4А	Кільця	Кування, штампування	1030-1050	830-900	1 Для виключення утворення сітки карбіду і тріщин звичні поковки охолоджують рівномірним примусовим дуттям, а масивні - тонкорозпиленою водоповітряною сумішшю. 2 При індукційному нагріві температура нагріву підвищується на 50-1000С
		Розкочування	950-1080	830-900	
	Кульки	Штампування:	950-1050	830-900	
		на молотах; на пресах; поперечне плющення	830-860 880-920	≥680 > 800	
95Х18 11Х18М 55СМ5ФА	Кільця	Кування	1050-1080	850-900	1 Попереднє підігрівання до 800-850 ⁰ С з витримкою 0,5-1,0 год. 2 Поковки кілець
	Кульки	Штампування	1030-1050	900-950	
		Напівгаряче Штампування	700-750	> 550	
8Х4В9Ф2-Ш 8Х4М4В2Ф-Ш	Кільця	Кування	1140-1160	≤ 850	1 Попереднє підігрівання прутків (заготовки кілець) до 750-8000С. Витримка 7-8 хв. на 10 мм перетину. 2 Підігрівання при штампуванні кульок до 800 ⁰ С. Витримка 1,5 хв на 1 мм перетину. 3 Поковки кілець охолоджуються в печі (з температурою не вище 800 ⁰ С, але не нижче 500 ⁰ С). Кульки охолоджуються в касетах з температурою не нижче 400 ⁰ С
	Кульки	штампування	930-940	≤ 800	
		Напівгаряче штампування	750-780	≤ 650	

Кульки діаметром до 26 мм виготовляють **холодним штампуванням** на гарячевисадочних пресах-автоматах; від 26-46 мм **гарячим поперечним плющенням**; діаметром більше 50 мм отримує **куванням на молотах**.

Ролики циліндрові, конічні і бочкоподібні діаметром до 30 мм штампуються в холодному стані на горизонтально-висадочних пресах-автоматах, а діаметром більше 30 мм виточуються з відпалених прутків на токарних багатопшпіндельних автоматах.

Голчасті ролики виготовляють методом вальцювання або виточують з прутка.

Ролики діаметром більше 60 мм для ущільнення мікроструктури піддають осіданню в гарячому стані.

5 ПОПЕРЕДНЯ ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ПІДШИПНИКОВИХ СТАЛЕЙ

Попередня термічна обробка виконується для забезпечення необхідних технологічних властивостей матеріалу заготовок (відливок, поковок прокату, штампувань і ін.) і забезпечує такі властивості:

- зменшення твердості для поліпшення оброблюваної всіма видами формоутворення;
- подрібнення зерна, усунення різних дефектів структури: неоднорідності карбіду, феритної рядковості, цементитної сітки та ін.;
- отримання рівномірного розподілу структурних складових;
- зняття внутрішніх напружень.

Як попередня термічна обробка заготовок проводиться різного виду відпал або нормалізація, або ж термополіпшення.

Відпал поковок із сталей ШХ18, ШХ15СГ і ШХ20СГ. Для забезпечення хорошої оброблюваної рідким і підготовки структури до гартування після гарячої деформації проводиться **відпал поковок на зернистій**

цементит (перліт) різного ступеня дисперсності, оцінюваної за шкалами, ГОСТ 801-78.

Найкраща мікроструктура для подальшої термічної обробки і оброблюваної різанням – однорідний дрібнозернистий цементит (перліт).

Структура сталі після відпалу робить великий вплив на вибір режимів при гартуванні, тому різниця в структурі по перетину поковок повинна бути мінімальною, що може бути забезпечене дотриманням теплових режимів як при куванні, так і при відпалі поковок.

Режим відпалу полягає в нагріві до 800°C , витримці, охолоджуванні до 730°C , витримці і охолоджуванні з пічкою до 600°C і далі на повітрі. При відпалі поковки можна нагрівати з будь-якою швидкістю. Для рівномірного нагріву всього садіння рекомендується при температурі $700-730^{\circ}$ давати витримку. Витримка при температурі відпалу повинна бути достатньою для перетворення перліту в аустеніт і для вирівнювання температури по всьому об'єму садіння – звичайно 3-4 год.

Враховуючи, що структура вихідних поковок неоднорова (різна температура закінчення кування, швидкість охолоджування і ін.), швидкість охолоджування поковок при відпалі орієнтовно повинна бути в межах $15-20^{\circ}\text{C}/\text{год}$. або $25-30^{\circ}\text{C}/\text{год}$. залежно від об'єму садіння.

Ці швидкості необхідні лише в інтервалі температур розпаду аустеніту – до $650-550^{\circ}\text{C}$. Далі охолоджування проводиться на повітрі.

Для відпалу можуть використовуватися шахтні електропечі або переважно конвеєрні, або ж штовхальні прохідні печі, в яких розподіл потужності по довжині печі дозволяє забезпечити зберігання оптимального режиму і досить високу продуктивність.

Твердість сталі після відпалу знаходиться в межах НВ 207-179.

При відпалі можливе утворення таких дефектів: пластинчастого перліту, неоднорідного грубозернистого перліту, сітки карбіду.

Пластинчастий перліт утворюється у разі недогріву або малої витримки, коли не пройшла повна сфероїдизація перліту і структура має вид дрібних тонких пластин серед дрібнозернистого перліту (**структура виправляється повторним відпалом**), або унаслідок перегріву при відпалі - вид крупних пластин на фоні крупних глобулей неоднорідного зернистого перліту (**виправляється нормалізацією при 900-920⁰ і подальшим відпалом**).

Неоднорідний грубозернистий перліт утворюється при дуже повільному нагріві або багатократному відпалі (**виправляється нормалізацією і відпалом**).

Сітка карбіду при відпалі не утворюється, а переходить з вихідної структури, тобто після кування (**негруба сітка карбіду виправляється нормалізацією**).

Нормалізація і прискорений відпал поковок. У тих випадках, коли деталям підшипників потрібна висока твердість після гартування і підвищеного відпуску (200-250⁰С), замість звичайного відпалу проводять нормалізацію і прискорений відпал. У цьому випадку обробка проводиться послідовно в двох печах періодичної дії. У першій камері (печі) поковки, розташовані в один ряд або стопками невеликої висоти, нагріваються до температури 900-920⁰, витримуються 40-60 хв, а потім охолоджуються на повітрі струменем стислого повітря або водяним туманом (зі швидкістю не менше 50⁰С/хв) до 650⁰С (до потемніння поковки). Після закінчення перетворення аустеніту в перліт поковки передаються в другу камеру (піч на прискорений відпал). Температура прискореного відпалу - 780-800⁰С, охолодження разом з піччю - до 650⁰С із швидкістю 50-100⁰С/год., а потім на повітрі. Тривалість перебування поковок в 1-й камері становить 1,5-2,0 год., в 2-й - 2,5-3,0 год.

Твердість поковок після нормалізації і прискореного відпалу - НВ 241-207. Мікроструктура має дрібнозернистий, точковий і сорбітоподібний перліт.

Нормалізація і високий відпуск поковок із сталі 20Х2Н4, 18ХГТ, 15Г1. Нормалізація проводиться при температурі 900-920⁰С, а подальший високий відпуск - при 650⁰С і досить великий витримці, необхідній для вирівнювання температури по всьому об'єму садіння.

За наявності дрібного природного зерна (не більші за бал 5 шкали ГОСТу 5639-65) після кування можна обмежитися високим відпуском при 650⁰С, але з тривалішою витримкою. Твердість поковок після високого відпуску не вище НВ 241. Мікроструктура – сорбітоподібний перліт.

Відпал поковок із сталі 95Х18. Поковки після охолодження в термостаті завантажують на відпал в піч, нагріту до температури 600⁰С. Після прогрівання всього садіння при 600⁰С поковки нагрівають до 850-870⁰С із швидкістю 200⁰С/год. і витримують при цій температурі 5-6 год.

Потім проводять охолодження з піччю спочатку до 740-760⁰С із швидкістю 30-40⁰С/год. (витримка 4-6 год.) і далі до 450⁰С; подальше охолодження на повітрі.

Твердість поковок після відпалу повинна бути не вищою НВ 269. Мікроструктура поковок – дрібнозернистий, зернистий перліт і надмірні карбіди.

Відпал поковок із сталей 8Х4В9Ф2-Ш і 8Х4М4В2Ф-Ш. Заготовки після кування охолоджують в печі, нагрітій до температури 500⁰С, тому відпал їх можна почати безпосередньо після вирівнювання температури по всьому садінню, або холодні заготовки після кування завантажують в піч, нагріту до температури 500-600⁰С. Після прогрівання поковки нагрівають до 830-850⁰С із швидкістю 2000С/год., витримують при цій температурі протягом 3-5 год. Потім проводять охолодження з піччю спочатку до температури 720-750⁰С із швидкістю 30-40⁰С/год., витримка при цій температурі - 4-6 год. і далі до 550⁰С подальше охолодження на повітрі.

Твердість поковок після відпалу повинна бути не вищою НВ 269. Мікроструктура поковок – сорбітоподібний або зернистий перліт і надмірні карбіди.

6 ЗМІЦНЮЮЧА ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ ІЗ СТАЛЕЙ ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ

Для досягнення високої твердості межі пружності при стисненні, зносостійкості і контактній витривалості деталі підшипника із сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ піддають гартування і низькому відпусканні.

Нижче подається опис технології гартування і відпускання кілець, кульок і роликів.

6.1 Термічна обробка кілець. На поверхні кілець перед гартуванням не повинно бути глибоких токарних рисок, вм'ятин, опіків і іржі, а галтелі кілець повинні мати плавні переходи. Крім того, кільця, що піддаються нагріву в захисній атмосфері, повинні бути чистими і сухими, без слідів масла і емульсії. Нагрів кілець може бути вироблений в електричних печах, соляних ваннах або струмами високої частоти (рис. 1) в основному із застосуванням ендотермічної захисної атмосфери.

Температура нагрівання під гартування встановлюється залежно від вихідної структури і гартівного середовища, **але вона повинна бути такою, щоб концентрація вуглецю в твердому розчині після гартування була в межах 0,55-0,65%** при загальному вмісті його в сталі 1,0-1,1%. У табл.3 наведені рекомендовані температури нагрівання під гартування кілець.

Як гартівні середовища рекомендується масло МЗМ-16 (ТУ 38.101.135-75); індустриальне масло И-12А, И-20А (ГОСТ 20799-75) з температурою 30-60⁰С.

Як гартування дрібних деталей використовується масло И-20А (ГОСТ 20799-75) з добавками 10-30% гірчичної (ГОСТ 8807-74) і соняшникової олії (ГОСТ 1129-73).

Всі масла перед вживанням повинні осушуватися від вологи протягом 20-24 год. при температурі 120-150⁰С.

Таблиця 3 – Орієнтовні температури нагрівання і витримка при гартуванні кілець із сталей ШХ15, Х15СГ, ШХ20СГ

Марка сталі	Товщина стінки кільця, мм	Температура нагріву, ⁰ С	Витримка, хв.
ШХ15	3-5	830-850	23-35
	5-8	835-855	35-45
	8-10	810-860	45-55
ШХ15СГ	10-15	820-830	45-55
	15-20	825-835	55-65
	20-25	835-840	60-75
	25-30	835-840	75-85
	30-35	840-845	85-100
ШХ20СГ	35-45	820-830	110-140
	45-55	830-840	140-170
	55-65	835-845	170-190

Не рідше двох разів на тиждень повинен проводитися контроль масла в гартівних баках на наявність води, і при виявленні води масло або бракується, або регенерується шляхом відстою при температурі 70-90⁰С.

Для зменшення гартівної деформації і уникнення утворення трооститових плям кільця діаметром від 150 до 1500 мм охолоджуються в процесі гартування до 150-200⁰С на валках, що обертаються, з окружною швидкістю 1,5-3,0 м/с, а далі - у спокійному маслі.

Гартування тонкостінних наполегливих кілець діаметром більше 150 мм проводиться в пресах і штампах.

Відпуск загартованих і охолоджених до +20⁰С кілець проводиться в електропечах опору з циркуляцією повіт-

рям, в калориферних печах або масляних ваннах не пізніше ніж через 3 год.

Температура відпуску для сталі ШХ15 повинна бути 150-165⁰С, сталей ШХ15СГ і ШХ20СГ - 160-175⁰С з витримкою у ваннах не менше 2 год. і в печах не менше 3 год. Витримка при відпуску масивних і великогабаритних деталей відповідно збільшується.

На рис. 1 представлена схема термічної обробки кілець в потоковому конвеєрному агрегаті.

Кільця навантажують на тремтячий лоток 1. По ньому вони надходять на конвеєр 2 печі 3, де нагріваються до температури гартування (830-840⁰С); з гартівної печі кільця через спрямовуючий кожух 4 потрапляють на конвеєр 5 гартівного бака 6 (температура масла 40-80⁰С). З гартівного бака кільця потрапляють на конвеєр 7 мийної машини 8 (температура води в мийній машині - 10-15⁰С). З мийної машини кільця через вікно 9 потрапляють на конвеєр 10 холодильної установки 11, де охолоджуються до мінус 20⁰С. З холодильної установки кільця через вікно 12 потрапляють на конвеєр 13 печі 14, де відпускаються при 150⁰С.

Графік технологічного процесу термічної обробки кілець в потоковому конвеєрному агрегаті наведений на рис. 2.

Для світлого гартування підшипникових кілець діаметром від 5 до 50 мм використовують напівавтоматичний агрегат з соляних ванн (рис.3). Технологічний процес термічної обробки підшипникових кілець на цьому агрегаті включає такі операції:

1) сушку садіння кілець (вагою 25-30 кг) у відкритій камері 1 з електропідігрівом до 130-150⁰С;

2) підігрів до 750⁰С в соляній (100% КСl) електродній ванні 2;

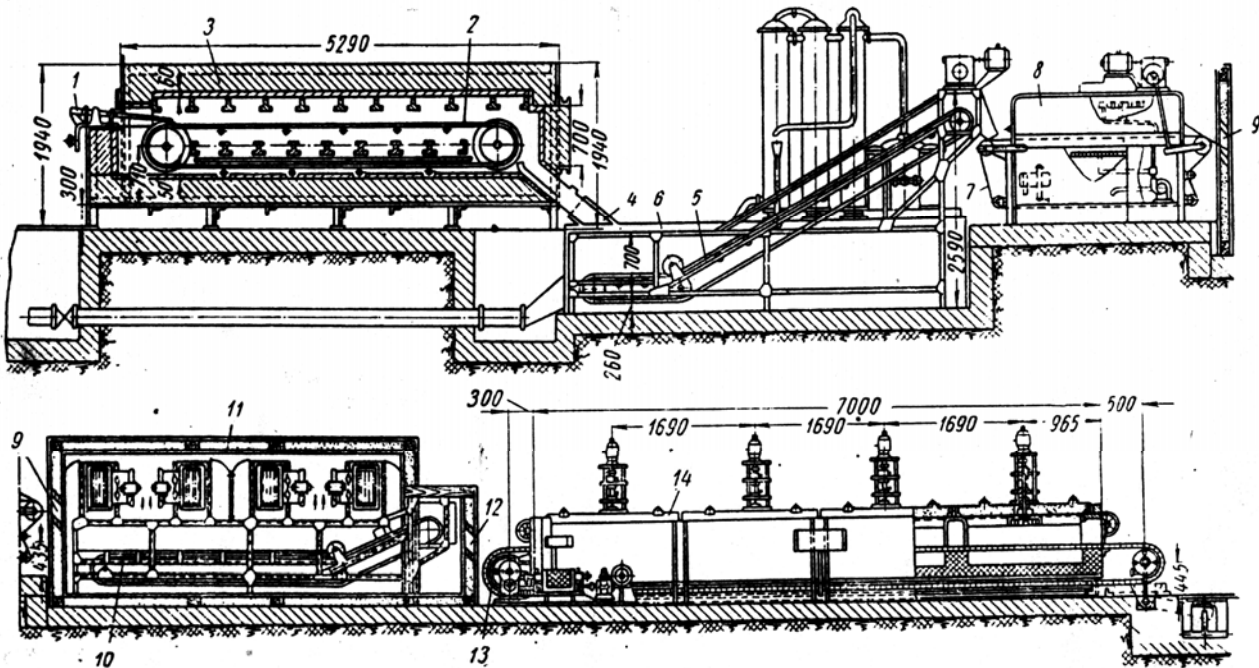


Рисунок 1 – Схема потокового конвеєрного агрегата для термічної обробки кілець підшипників

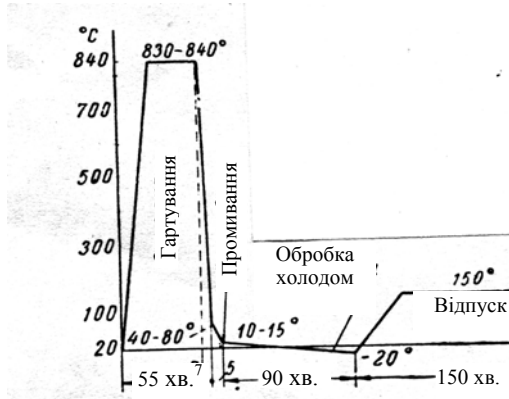


Рисунок 2 – Графік термічної обробки кілець у потоковому конвеєрному агрегаті

3) остаточне нагрівання до 840°C в соляній електродній ванні 3;

4) охолодження в гартівному баку 4 з маслом;

5) промивання (від масла і солі) струменями проточної води в мийній машині 5;

6) остаточне промивання у водному розчині інгібованої соляної кислоти у ванні 6;

7) промивання (від кислоти) в холодній проточній воді у ванні 7;

8) пасивування (запобігання від корозії) в гарячому водному розчині нітриту натрію (2-3% NaNO_2) у ванні 8.

Після обробки на агрегаті кільця піддаються відпуску при 150°C в конвеєрній електропечі з примусовою циркуляцією повітря.

Після обробки на агрегаті кільця виходять чистими, додаткове очищення їх не потрібне.

Високі вимоги, що ставляться до куль і роликів у частині високої однорідної твердості і однорідної структури на поверхні, примушують особливо уважно ставитися до питання вибору гартівного обладнання.

Для великих куль діаметром більше 50 мм найкращим агрегатом для нагрівання під гартування є також соляні ванни.

6.2 Термічна обробка кульок і роликів. Вимоги до якості поверхні кульок і роликів до гартування і після гартування і при відпуску аналогічні вимогам при термічній обробці кілець.

Нагрівання під гартування кульок діаметром до 50 мм проводиться в муфельних печах, кульок діаметром більшого розміру – в соляних ваннах або на деках в карусельних, конвеєрних або рольгангових печах. Орієнтовні температури нагрівання і час витримки наведені в табл. 4.

Дрібні кульки діаметром до 12,700 мм виробляються в маслі, кульки всієї решти розмірів – у водних розчинах. Для запобігання м'яким поверхневим трооститним плямам, наявність яких обумовлена утворенням на поверхні кульок парової сорочки, у воду додається 3,5-5% соди, а також широко застосовується механічне видалення парової сорочки шляхом перекочування кульок діаметром від 50 мм і вище в пристрої, що гойдається або, що обертається, або переміщення кульок меншого розміру (діаметром від 12 до 50 мм) по вертикально розташованому у вигляді гвинтової лінії пристрою, що подовжує шлях руху кульок.

У зону охолодження додатково спрямовуються інтенсивні потоки водно-содового розчину.

Кульки діаметром більше 80 мм нагрівають в соляній ванні і охолоджують в 10% водному розчині NaCl.

Нагрівання роликів під гартування (табл. 4) проводиться у муфельних печах, у печах з пульсуючим черенем або рольгангових печах. Охолоджуюче середовище – масло 30-60⁰С.

Гартування деталей підшипника в гарячому середовищі. Для деяких певних умов роботи деталі підшипників із сталей ШХ повинні мати підвищену пластичність. В цьому випадку застосовують гартування від 840-850⁰С в

маслі з температурою 120-130⁰С. **Витримка в гартівному середовищі становить 12 год.** Ударна в'язкість при цій обробці становить 8-12 кгс/см², твердість - не менше HRC 60. Схема гартування кілець в соляних ваннах подана на рис. 3.

Таблиця 4 - Орієнтовні температури нагріву і витримка при гартуванні кульок із сталі ШХ15

Діаметр кульки, мм (дюйм)	Температура нагріву, °С	Витримка, хв	Охолоджуюче середовище
3,175 (до 1/8)	930-840	20-30	Масло 30-600С
3,175-13,494 (1/8-17/32)	835-860	20-35	Те саме
14,288-23,813 (9/16-15/16)	825-850	40-50	3-5% водно-содовий розчин, 25-40 ⁰ С
34,925-47,625 (1 3/8-1 7/9)	840-870	50-60	Те саме
50,8 (2)	840-860	55-65	->-
76,2 (3)	850-865	65-75	->-
101,6 (4)	860-870	65-75	10% водний розчин NaCl
127 (5)	865-875	75-80	Те саме

Гартуванню в гарячих середовищах піддають також тонкостінні кільця для уникнення викривлення, яке може виникнути навіть під власною вагою при неакуратному вивантаженні з печі. Застосування гартівного середовища з підвищеною температурою дозволяє понизити перепад температури і уповільнити швидкість охолодження при мартенситному перетворенні, що приводить до одночасного перетворення по всьому об'єму гартованої деталі, унаслідок чого зменшуються напруження і можлива деформація. Для цього на практиці найчастіше використовують масло з температурою 100-120⁰С.

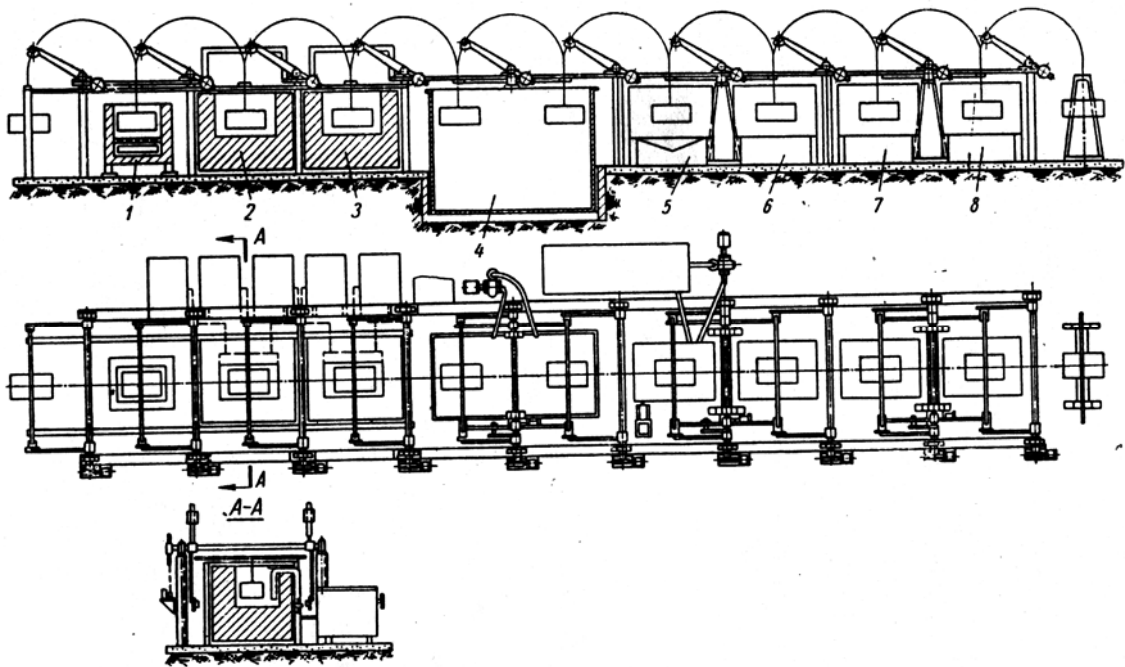


Рисунок 3 – Схема агрегату для світлого гартування кілець у соляних ваннах

6.3 Термічна обробка деталей підшипника з підвищеними температурами відпуску. Для стабілізації розмірів кілець і тіл кочення підшипників, призначених для роботи при підвищених робочих температурах і високих питомих навантаженнях, застосовують термічну обробку за таким маршрутом.

Заготовки кілець для цих підшипників перед токарною обробкою необхідно з метою отримання однорідного дрібнозернистого перліту піддавати нормалізації і прискореному відпалу.

Гартування деталей рекомендується проводити від температур, близьких до верхньої межі гартування. Відпуск при підвищених температурах можна проводити безпосередньо після гартування. Температура підвищеного відпуску деталей підшипника і температура його в умовах експлуатації наведені нижче.

Температура відпуску деталей підшипника при термічній обробці, °С	200	250	300	350	400
Інтервал робочих температур підшипника, °С	-60 - 120	-60 - 200	-60 - 250	-60 - 300	-60 - 350

6.4 Гартування тіл кочення при індукційному нагріві. Для підвищення продуктивності, економії виробничих площ і підвищення культури виробництва можна виробляти гартування роликів діаметром від 15 до 21 мм і кульок діаметром від 12 до 50 мм з нагрівом СВЧ. Нагріті до температури 920-940⁰С протягом 9 с (діаметр 12 мм) і 120 с (діаметр 50 мм) деталі охолоджуються водопровідною водою з щілистого спреєра. З гартівного пристрою деталі надходять у відпускну піч.

6.5 Електротермічна обробка кілець залізничних підшипників. Електротермічну обробку кілець підшипни-

ків із сталі регламентованої прогартовуваної ШХ4 проводять з нагрівом СВЧ машинних генераторів. При цьому способі відбувається поверхнєве гартування кільця при глибинному нагріванні його по всьому перетину. Промислові установки дозволяють протягом 2-3 хв. нагрівати кільце до 840-860⁰С (витримка при цьому становить не менше 45 с), а потім охолодити його інтенсивним потоком води, що подається між стінкою індуктора і нагрітою деталлю (спреєром), що дає можливість загартувати всю поверхню на твердість зверху HRC 60, а серцевину зміцнити до HRC 35-40. Завдяки цій обробці на поверхні створюються напруження стиснення (500-700 МПа), які сприяють підвищенню межі витривалості, стійкості проти крихких руйнувань і пітингу.

Великогабаритні кільця із сталі ШХ15 і ШХ15СГ, окрім звичного гартування, піддають поверхневому гартуванню при нагріванні струмами високої частоти безперервно-последовним способом (рис. 4). Нагрівання кільця 1 здійснюється двома однаковими індукторами 2 і починається в той момент, коли вони зведені разом. Після нагрівання поверхні під індуктором включається механізм, рушійний індуктори по колу (у протилежні боки). Подача на деталь охолоджувальної рідини з душових пристроїв кожного індуктора починається після того, як спеціальний механізм присуне заслінку 3 для того, щоб струмені води з душового пристрою одного індуктора не потрапляли на інший індуктор. Охолодження зон нагрівання в кінці гартування після стулення індукторів проводиться додатковим душовим пристроєм 4. Упори 5, що забираються для можливості проходження індукторів.

Температура нагрівання 880-920⁰С, одержувана глибина шару 3-5 мм. Після гартування кільця відпускають при 160⁰С (HRC 62-64). Деформація кілець значно менша, ніж після цементації і гартування.

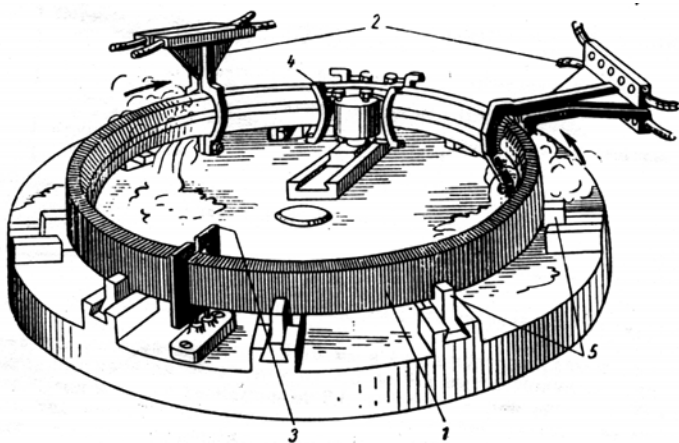


Рисунок 4 – Схема пристрою для гартування парними індукторами великогабаритного кільця

7 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Контроль якості термічної обробки проводиться шляхом вимірювання твердості, огляду зламу і дослідження мікроструктури.

Контроль твердості кілець і тіл кочення проводиться за Роквеллом або Супер-Роквеллом шляхом вдавлення алмазного конуса у випробовувану поверхню при навантаженнях 150, 60 і 30 кгс.

Твердість тіл кочення діаметром 4,76 мм і більше контролюється при навантаженні 150 кгс, тіл кочення діаметром від 2,5 до 4,5 мм за Роквеллом – при навантаженні 60 кгс і тіл кочення діаметром від 2,0 до 2,4 мм - при навантаженні 30 кгс.

Твердість тіл кочення діаметром менше 2 мм контролюється за методом Віккерса. Твердість циліндрових роликів перевіряється по плоских і випуклих торцях або по

верхні кочення, твердість сферичних (бочкоподібних) роликів - по випуклих торцях, твердість витих роликів – по циліндрових поверхнях, а твердість кульок – по сферичних поверхнях з використанням спеціальних пристроїв.

При вдавлюванні алмазного конуса у сферичну і циліндрову поверхні дійсна твердість кульок і роликів з урахуванням спотворюючого впливу кривизни поверхонь визначається шляхом введення спеціальних поправок.

Норми вимірювання твердості встановлюються залежно від типу і призначення деталі.

Злам сталі ШХ15 і ШХ15СГ контролюється з метою визначення за його видом якості термічної обробки і виявлення дефектів сітки карбіду, перепалу в процесі кування і штампування:

1) при гартуванні на нижній межі злам матово-сірий, фарфороподібний, тонкої зернистості, злегка волоконний;

2) при задовільному гартуванні злам матово-сірий, фарфороподібний, шовковистий;

3) при гартуванні на верхній межі злам сірий з тонкою зернистістю;

4) при гартуванні з перепалом злам сірий, зернистий і крупнозернистий з блискітками;

5) у сталі, що не загартувалася, злам темно-сірий, крупнозернистий і дрібнозернистий з блискітками, волоконний.

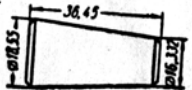
Опис мікроструктури підшипникових сталей дано в табл. 6. Сітка карбіду не повинна перевищувати 3-й бал (ГОСТ 801-78).

Треба відзначити, що діючою технічною документацією в сталі ШХ15 допускаються невеликі ділянки трооститу в деяких деталях. Приклад технологічної карти термічної обробки роликів поданий в табл. 7.

Таблиця 6 - Опис мікроструктури підшипникових сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ після термічної обробки*

Бал	Опис мікроструктури	Характеристика якості термічної обробки
1	Прихованокристалічний** мартенсит і надлишкові карбіди	Задовільна термічна обробка
2	Нерівномірно травлячий, прихованокристалічний мартенсит і надлишкові карбіди	Те саме
3	Приховано- і дрібноголчастий мартенсит і надлишкові карбіди	->-
4	Дрібноголчастий мартенсит і надлишкові карбіди	->-
5-10	Прихованокристалічний мартенсит, ділянки трооститу різної величини і надлишкові карбіди	Недостатнє нагрівання і охолодження
11	Дрібно- і середньоголчастий мартенсит і надлишкові карбіди	Невеликий перегрів
12	Середньо- і великоголчастий мартенсит і надлишкові карбіди	Перегрів
13	Великоголчастий мартенсит і надлишкові карбіди	Значний перегрів
* Мікроструктура вивчається при збільшенні X500-600.		
** Прихованоголчастий		

Таблиця 7 - Технологічна карта термічної обробки роликів

	Марка сталі	Твердість, HRC		Злам		Мікроструктура після термічної обробки
	ШХ15	після гартування	після відпуску	після гартування	після відпуску	Прихованокристалічний мартенсит і надлишкові карбіди
Найменування операції	Обладнання	Завантаження	Режим термічної обробки			
			Температура, °C	Час витримки	Середовище охолодження	
1 Гартування:						
а) нагрівання	Гартівна піч типу ЦЕП-127	У один шар по всьому череню	845±10	50 хв.		
б) охолодження	Гартівний бак	Без укладання	30-60	4 хв.	Масло веретенне № 3	
2 Контроль:						
а) твердість 15-20 шт. за зміну	Прилад Роквелла					
б) злам 7-10 шт. за зміну	Прес					
3 Промивка	Оболточно-мийна машина	Без укладання		20 хв.	3% водно-содовий розчин	
4 Відпуск	Відпускна електропіч типу ОКБ-134	Без укладання	150±10	3,5 год.		
5 Контроль:						
а) твердість 1-3%;	Прилад Роквелла					
б) м'які плями 2%;	Очний контроль					
в) злам 0,2-0,5%;	Прес					
г) мікроструктура 0,01%	Мікроскоп металографії					

8 ХІМІКО-ТЕРМІЧНА І ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ПІДШИПНИКІВ

Цементовані сталі застосовують для підшипників масових типів зовнішнім діаметром 40-150 мм і великогабаритних підшипників діаметром до 2 м, що випробовують у процесі експлуатації значні ударні і контактні навантаження.

Процес хіміко-термічної обробки деталей великогабаритних підшипників із сталі 20Х2Н4А складається з таких операцій: цементация, високий відпуск, гартування, низькотемпературний відпуск. Підшипники із сталі 18ХГТ і 15Г після цементации проходять гартування, обробку холодом і низький відпуск.

8.1 Технологія цементации і термічної обробки деталей великогабаритних підшипників

Цементация. Перед цементацией кільця укладають на спеціальні литі жаротривкі хрестовини, причому кільця діаметром понад 700 мм укладають комплектно (усередину зовнішніх кілець поміщаються внутрішні), меншого діаметру укладають окремими стопками. Для циркуляції газу і цементации торців кілець між ними поміщають прокладки. Ролики завантажуються на спеціальному пристрої, що є жаротривким штоком із закріпленими дисками, на які встановлюються ролики.

Процес цементации здійснюється в шахтних електрод печах в газоподібному карбюризаторі природним або переважно міським газом складу, %: 70-90 CH_4 , 1-5 Z , 5-20 H_2 , $\leq 1,0 \text{ CO}_2$, $\leq 1,0 \text{ O}_2$.

Деталі завантажуються в прогріту до 930-940⁰С піч. При появі великої кількості надлишкових карбідів подача газу знижується.

Товщина цементованого шару залежить від температури і тривалості цементації. На початку процесу цементації швидкість науглецьовування становить приблизно 0,1 мм/год., а в кінці процесу – 0,03 мм/год. В середньому для отримання шару загальної товщини близько 8-10 мм швидкість цементації може бути взято 0,05 мм/год. Враховуючи, що швидкість цементації з часом сповільнюється, подача цементуючого газу по ходу процесу повинна знижуватися.

Залежно від конфігурації і розміру кілець і роликів, припуску на шліфування і необхідної товщини шару в готових деталях тривалість цементації може становити 50-200 год.

Як правило, при тривалій цементації на поверхні спостерігається висока концентрація вуглецю. Після цементації при 930-940⁰С тривалістю 150 год. високий вміст вуглецю близько 1,5-2,0% зберігається на глибині декількох десятих міліметра, а потім різко знижується до 1,0-1,2%, і далі концентрація знижується повільно і плавно.

Відповідно до розподілу вуглецю по глибині цементованого шару змінюються мікроструктура і твердість. Після гартування з температури цементації структура складається з аустеніту, мартенситу і надлишкових карбідів (Fe, Cr)₃C. Твердість на поверхні у зв'язку з великою кількістю залишкового аустеніту дорівнює HRC 20-30, далі твердість поступово збільшується з пониженням вмісту вуглецю.

Високий відпуск. Однією з найважливіших операцій, що впливають на якість цементованих деталей, є відпуск. Правильно проведений відпуск дає можливість одержати в загартованому стані задовільну мікроструктуру, високу твердість і найменшу кількість залишкового аустеніту в цементованому шарі. Метою високого відпуску є отримання перед низькотемпературним гарттом перлітової структури в цементованому шарі.

Розпад залишкового аустеніту в загартованому від 930-940⁰С цементованому шарі відбувається при нагріванні до температури високого відпуску, ізотермічній витримці при охолодженні.

При нагріванні розпад залишкового аустеніту спостерігається в інтервалі перлітового перетворення (близько 600⁰С) і в інтервалі бейнітного перетворення (близько 300⁰С), розділені зоною стійкого аустеніту (400-500⁰С).

Високий відпуск проводиться в шахтних печах при 580-600⁰С протягом 10-15 год. (з моменту завантаження). Далі деталі охолоджуються на повітрі до температури цеху, а потім завантажуються на повторний високий відпуск за цим же режимом.

Гартування. Оптимальною температурою, при якій виходить найсприятливіше поєднання твердості, мікроструктури і прогартовуваності цементованого шару, є 800⁰С. Підвищення температури нагріву збільшує кількість залишкового аустеніту, що викликає зниження твердості, а зниження температури зменшує прогартовуваність по товщині цементованого шару, особливе в об'ємах з невеликим вмістом вуглецю.

Нагрівання під гартування кільць здійснюється в шахтній електропечі при температурі 790-800⁰С протягом 1,5-3 год. (залежно від перетину гартованої деталі). Після закінчення витримки кільце з печі переноситься в індивідуальний штамп, на який внаслідок термічного розширення воно легко сідає, а при подальшому охолодженні в маслі (30-60⁰С) кільце скорочується і щільно обтискає штамп. Треба відзначити, що цементована сталь 20Х2Н4А випробовує при гартуванні усадку, тобто зменшення розмірів як по зовнішньому, так і внутрішньому діаметру стосовно початкових величин (усадка тим більша, чим більший діаметр кільця, його перетин, товщина цементованого шару, кількість залишкового аустеніту). Величина усадки повин-

на бути врахована при призначенні припусків на шліфування.

Ролики при нагріванні під гартування встановлюються на хрестовину-сітку.

Протягом 5-10 хв. деталі інтенсивно переміщуються у гартівному баку, а потім спокійно охолоджуються. Охолоджені в маслі деталі промиваються в гарячому 3,5-5% водно-содовому розчині. Для стабілізації розмірів деталі протягом 15-20 хв. охолоджуються в холодній проточній воді.

Відпуск. У шахтних електропечах з примусовою циркуляцією повітря відпуск проводять при температурі 160⁰С протягом 7-12 год. (з моменту завантаження).

У процесі відпуску зменшується не тільки поверхнева твердість, але і товщина твердого цементованого шару (ефективна товщина шаруючи з твердістю HRC 58 і більше).

Контроль. Після хіміко-термічної і термічної обробки твердість на поверхні цементованих деталей повинна бути HRC 58-62. Твердість серцевини HRC 30-45.

Мікроструктура цементованого шару після термічної обробки – приховано- і дрібноголчастий мартенсит, перехідний у міру зменшення вмісту вуглецю у дрібноголчастий і голчастий мартенсит. Замкнута сітка карбіду в цементованому шарі не допускається. Мікроструктура серцевини – низьковуглецевий мартенсит. Допускається невелика кількість залишкового аустеніту. Шкала мікроструктури наведена на рис. 5.

Товщина цементованого шару – до 10 мм залежно від вимоги в готових деталях, припуску на шліфування і деформації в кільцях.

Товщина дифузійного шару після цементації і мікроструктура контролюються в ЦЗЛ по свідках, виготовлених із сталі прута однієї і тієї ж плавки, що і деталі.

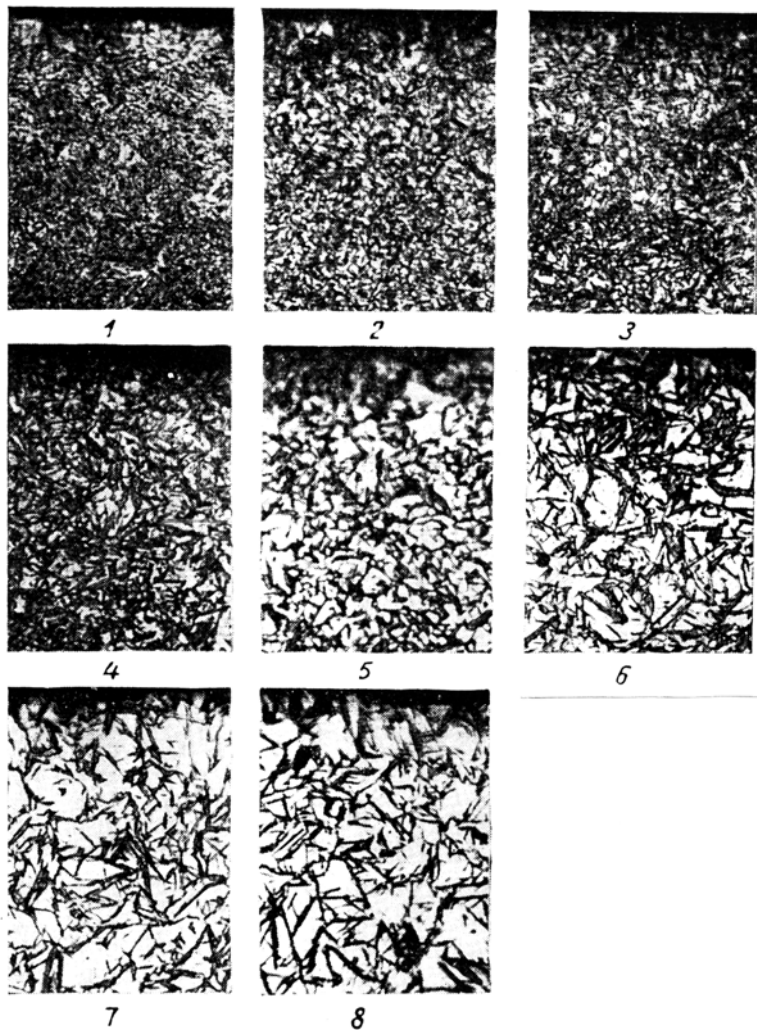


Рисунок 5 – Шкала мікроструктури – кількість залишкового аустеніту в цементованому шарі сталі 30ХГТ після безпосереднього гартування і низького відпуску. Деталі із структурою, що відповідає балам 1-5, вважаються придатними, а із структурою балів 6-8 спрямовуються на повторну термічну обробку

Мікроструктура після цементації, гартування і низького відпуску повинна складатися з дрібнозернистого перліту, видимі ділянки залишкового аустеніту не допускаються.

Зміну твердості по глибині цементованого шару сталі 20X2H4A залежно від температури відпуску наведено на рис. 6.



Рисунок 6 - Зміна твердості по глибині цементованого шару сталі 20X2H4A залежно від температури відпуску

8.2 Азотування підшипникових сталей

Азотування сталей підшипникових деталей проводиться перед гартуванням. Азотування деяких типів підшипників дозволило за рахунок створення в поверхневих шарах напружень стиснення підвищити довговічність їх при експлуатації. Азот і вуглець, дифундовані в сталь, частково входять в твердий розчин і утворюють карбонітриди.

Попереднє азотування сталей типу ШХ або азотування при поєднанні з нагрівом під гартування дозволяє майже в 2 рази підвищити довговічність підшипників.

Попереднє азотування можна проводити за таким режимом: нагрівати до 510⁰С, витримка 30 год., потім підняття температури до 530⁰С і витримка 15 год., гартування від 840⁰С, відпуск при 150⁰С, тобто азотування можна поєднати з гартуванням.

9 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ

ПІДШИПНИКІВ З КОРОЗІЙНОСТІЙКИХ І ТЕПЛОСТІЙКИХ СТАЛЕЙ

9.1 Деталі корозійностійких підшипників виготовляють в основному із сталі 95X18, рідше - із сталі 11X18M. Термічна обробка включає гартування, обробку холодом і низькотемпературний відпуск.

Для запобігання деформації і утворення тріщин при нагріванні сталей через їх малу теплопровідність застосовують ступінчастий нагрів під гартування в камерних печах або соляних ваннах. Деталі заздалегідь нагрівають до 850⁰С, потім остаточно до 1040-1060⁰С з витримкою 1,5 хв на 1 мм перетину, але не менше 4 хв, і охолоджують у маслі. Деталі підшипників, що працюють при від'ємних температурах, не пізніше ніж через 4 год. після гартування піддають обробці холодом (при -70–80⁰С).

Сучасний рівень технології термічної обробки зумовлює застосування вакуумних гартівних печей. У цьому випадку нагрівання здійснюється без попереднього підігрівання, охолодження – в потоці нейтрального газу. У вакуумні електропечі опору періодичної дії типу 1СКВ деталі завантажують в корзинах, потім піч вакуумують.

Нагріті деталі передаються в гартівну камеру, де охолоджуються або в потоці нейтрального газу під вентилятором, або зануренням в бак з вакуумним маслом. Загартовані деталі мають світлу поверхню і малу деформацію.

Відпуск виконують при 150-160⁰С протягом 3 год. в масляних ваннах або в електропечах. Твердість після термічної обробки HRC 58-62. Мікроструктура – приховано- і дрібнокристалічний мартенсит і надлишкові карбіди.

Підшипники з корозійностійких сталей, призначені для роботи при підвищених температурах, відпускають при 400-420⁰С протягом 5 год., при цьому твердість знижується до HRC 55.

9.2 Деталі теплостійких підшипників виготовляють із сталей 8Х4В9Ф2-Ш (ЕІ 347-Ш) і 8Х4М4В2Ф1-Ш (ДІ 43-Ш) і піддають гартуванню з високим відпуском.

Нагрівання кілець і тіл кочення під гартування проводять в соляних ваннах в два етапи: попередній нагрів до 800-830⁰С і остаточний нагрів до 1220-1240⁰С для сталі 8Х4В9Ф2-Ш і 1130-1160⁰С для сталі 8Х4М4В2Ф1-Ш. Тривалість нагріву - 8-10 с на 1 мм при перетині деталей до 25 мм і 6 с для більшого перетину деталей; охолодження при гартуванні в маслі И-12А або И-20А при температурі 80-130⁰С.

Після промивки деталі піддають триразовому відпуску в селітрових ваннах при 565-580⁰С протягом 2 год. при кожному відпуску з охолодженням на повітрі.

Для підшипників, що працюють при температурі більше 500⁰С, деталі відпускають при 580-600⁰С (для робочих температур до 550⁰С), або при 650⁰С (для робочих температур до 550⁰С), або при 650⁰С (для робочих температур до 600-650⁰С). Твердість після термічної обробки – НРС 60-64. Мікроструктура – приховано- і дрібногочастий мартенсит і надлишкові карбіди. Величина зерна і гочаста структура мартенситу строго регламентуються, температура нагрівання під гартування у названих межах коригується поплавцем за наслідками пробного гартування зразків із сталі даної плавки.

10 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ І ЗВІТНІСТЬ

10.1 Вивчити короткі теоретичні положення термічної обробки деталей підшипників.

10.2 Отримати від викладача завдання на термічну обробку конкретної деталі підшипника.

10.3 Дослідити твердість названої в п.10.2 деталі.

10.4 Вибрати 2-3 марки сталі для виготовлення виданої деталі підшипника.

10.5 Розробити технологічні процеси термічної обробки вибраних марок сталей стосовно конкретної деталі.

10.6 Підготувати мікрошліфи зразків після кожної термічної операції.

10.7 Дослідити і описати мікроструктуру і властивості зразків після кожної термічної операції; досліджувати величину зерна згідно з ГОСТом.

10.8 За наслідками роботи надати викладачу звіт у вигляді:

- а) технологічної карти термічної обробки;
- б) протоколу дослідження твердості, мікроструктури і величини зерна згідно з ГОСТом;
- в) захистити роботу тестовим контролем.

11 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

11.1 Як впливає підвищення вмісту кисню і неоднорідність карбиду на контактну витривалість?

11.2 Електрошлаковий переплав зменшує в сталі кількість...

11.3 Дайте характеристику сталі 8Х4МВ2Ф1-Ш.

11.4 Для чого кільця підшипників, виготовлені з труб, піддають розкочуванню?

11.5 При якій температурі проводять кування сталей ШХ15, ШХ15СГ?

11.6 З якою метою проводиться попередня термічна обробка підшипникових сталей?

11.7 Яка твердість шарикопідшипникових сталей після відпалу?

11.8 Карбідна сітка в сталях при відпалі утворюється...

11.9 Вкажіть режим прискороного відпалу підшипникових сталей.

11.10 При якій температурі проводять нормалізацію сталей 20Х2Н4, 18ХГТ?

11.11 Яка твердість поковок із сталей 8Х4В9Ф2-Ш після відпалу?

11.12 Для зменшення отримання кількості залишкового аустеніту при гартуванні в аустеніті оптимально розчиняють вуглець...

11.13 Яке масло рекомендується застосовувати при гартуванні підшипникових сталей?

11.14 Яка температура відпуску після остаточного гартування сталей ШХ20СГ, ШХ15СГ?

11.15 Навіщо деталі шарикопідшипників пасивують?

11.16 При гартуванні підшипників 120-130⁰С у гартівному середовищі витримують...

11.17 Яка температура гартування підшипникових сталей при індукційному нагріванні?

11.18 Який злам мікроструктури при гартуванні з температур нижньої межі?

11.19 Який злам сталі після гартування з перегрівом або перепалом?

11.20 Яка твердість цементованих загартованих деталей підшипників?

11.21 Яка температура гартування сталей 95Х18, 11Х18М?

11.22 До якої температури можуть нагріватися підшипники з корозійностійких сталей при роботі?

11.23 Яка температура гартування теплостійких сталей?

11.24 При якій температурі можуть працювати підшипники із сталей 8Х4М4В2Ф1?

11.25 Мікроструктура термооброблюваних на твердість НРС 60-64 теплостійких сталей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта. –М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

2. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Сакей А.Г. Технология термической обработки. –М.: Металлургия, 1986. -424 с.

Лабораторна робота 3
«Термічна обробка ресорно-пружинних сталей. Структура і властивості»
(тривалість роботи - 6 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

- 1.1 Вивчити технологію термічної обробки ресор і пружин.
- 1.2 Навчитися проводити термічну обробку пружинних елементів.
- 1.3 Навчитися досліджувати мікроструктуру і властивості ресорно-пружинних сталей в стані поставки і після різних видів зміцнення.

2 ОБЛАДНАННЯ І МАТЕРІАЛИ

- 2.1 Лабораторні печі для відпалу, гартування і відпуску.
- 2.2 Прокатний стан.
- 2.3 Зразки сталей для пружин і ресор типу У8А, 65, 60С2, 3Х13 і ін.
- 2.4 Гартівний масляний бак.
- 2.5 Мікроскопи МІМ-7, ММУ-3.
- 2.6 Установка для приготування мікрошліфів.
- 2.7 Абразивні шкурки різної зернистості.
- 2.8 Протравлювачі для виявлення мікроструктур, спирт.

3 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПРУЖИН І РЕСОР

3.1 Умови роботи пружин і ресор. Вимоги до ресорно-пружинних сталей

Пружини і ресори є пружними елементами різноманітних машин, механізмів і приладів, призначених для створення, сприйняття або гасіння ударів, коливань, струсів, а також для приведення рухомих частин або для вимірювання зусиль. Різноманітність видів пружин, застосовуваних в сучасній техніці, дуже велика. За характером роботи розрізняють пружини, що працюють на стиснення, розтягування, кручення, і спеціальні, сприймаючі комбіноване навантаження, в основному вигин. За формою пружини діляться на гвинтові, спіральні, тарілчасті та ін. Деякі види пружин і ресор зображені на рис. 1.

Різні типи пружин можуть експлуатуватися при статичному прикладенні навантаження (наприклад, постійно стислі), при динамічних навантаженнях (буферні пружини) і багаторазових динамічних навантаженнях з великим числом циклів навантаження різної частоти (пружини клапанів двигунів).

Основною робочою характеристикою пружин є їх **жорсткість**, тобто здатність деформуватися на певний розмір при заданих навантаженнях. Величина і **постійність робочих характеристик**, а також відсутність поломок і **зміни розмірів** (просідання, розтягування) характеризують якість пружин.

Найбільше поширення в техніці мають гвинтові пружини. Великі гвинтові пружини виготовляють з прутків діаметром більше 12 мм, середні – з дроту або прутків діаметром 1,5-12 мм. Дрібні – з дроту діаметром 0,2-1,5 мм.

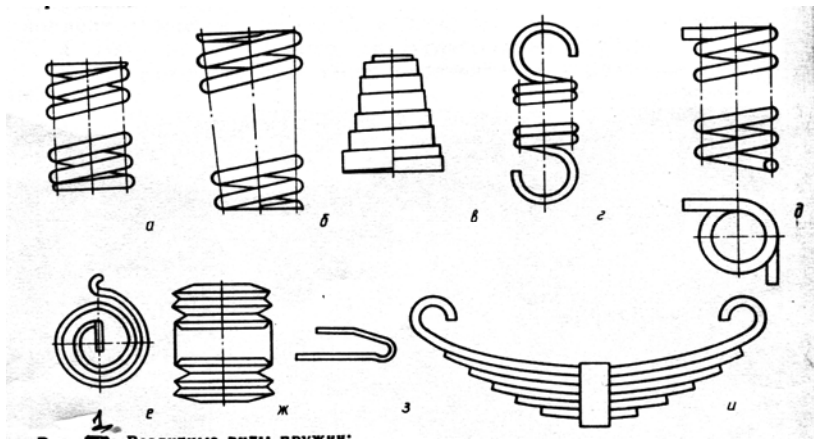


Рисунок 1 – Різні види пружин: а – пружина стиснення циліндрова; б – пружина стиснення конічна з дроту круглого перетину; в – пружина стиснення телескопічна із заготовки прямокутного перетину; г – пружина розтягування циліндрова; д – пружина кручення; е – пружина спіральна плоска; ж – пакет тарілчастих пружин; з – пружина вигину пластинчаста; і – листова ресора

При правильному виборі типорозміру пружин і ресор відповідно до величини і характеру навантажень на їх довговічність і надійність впливають такі фактори:

1 Хімічний склад і структурний стан сталі після термічної обробки, а також його зміна в процесі навантаження.

2 Металургійна якість сталі (вміст неметалічних включень, неоднорідність складу і структури).

3 Якість поверхні прокату (листа, смуги, стрічки дроту). Наявність дефектів поверхні, що виконують роль концентраторів напружень у готових пружинах і ресорах.

4 Наявність і глибина знеуглецьованого шару.

5 Напружений стан, визначений характером розподілу і величиною внутрішніх залишкових напружень.

3.2 Сталі, що застосовуються для виготовлення пружних елементів

Пружини і ресори широко застосовуються в машинах і приладах самої різної конструкції. Метал, що застосовується для виготовлення пружин і ресор, повинен мати високі межі пружності і утомленості.

Для виготовлення пружин і ресор застосовуються (за ГОСТом 2052-53) вуглецеві і леговані сталі: 65, 70, 75, 85, 50С2, 55С2, 60С2, 70С3А, 65Г, 55ГС, 50ХГА, 50ХФА, 50ГФА, 60С2ХФА, 60С2ХА, 60С2Н2А, 55СГ, 60СГА і ін.

Як видно, легуючими присадками в ресорно-пружинній сталі є кремній, марганець, хром, ванадій, вольфрам, тобто елементи, які підвищують межу пружності сталі, збільшуючи відношення межі пружності до межі міцності до величини, близької до одиниці $\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_s} \cong 1\right)$.

Вуглецеві сталі, що застосовуються для виготовлення різноманітних пружин, за властивостями в стані поставки розділяють на дві групи.

1 Заздалегідь підготовлена (патентована), діаметром до 8 мм з високими механічними властивостями. Після навивання (у холодному стані) пружини з такої сталі піддаються тільки низькотемпературному відпуску для зняття напружень, що виникають при навиванні.

2 Відпалена, діаметром до 6 мм. Після навивання пружини з такої сталі піддаються гартуванню в маслі і відпуску при 480⁰С.

Застосування вуглецевої сталі діаметром більше 6 мм недоцільне, тому що в цьому випадку при гартуванні доводиться як охолоджуюче середовище застосовувати воду, що викликає появу поверхневих тріщин, а при гартуванні в маслі не досягається наскрізної прогартуваності.

Перевагою **крем'янистої сталі** в порівнянні з вуглецевою є її підвищена прогартуваність і вищі характеристи-

ки міцності і пластичності, підвищена стійкість проти окиснення при нагріванні і менша схильність до перегріву. Недоліком цієї сталі є **підвищена схильність до утворення поверхневих дефектів** при гарячій механічній обробці, **до знеуглецювання і до графітизації**. У результаті знеуглецювання зовнішньої поверхні пружини або ресори різко знижується їх опірність тривалим навантаженням. Тому нагрів пружин і ресор необхідно проводити з запобіганням від знеуглецювання або (для усунення шкідливого впливу знеуглецьованого шару) піддавати їх після термічної обробки обдуванням дробом.

Широке застосування для виготовлення ресор і пружин має крем'яниста сталь 55С2 і 60С2. Сталь 60С2 може також застосовуватися для виготовлення пружин, що працюють при температурах до 250⁰С. Сталь 70С3А має високі механічні властивості, але схильна до графітизації.

Марганцевиста сталь (65Г) в порівнянні з крем'янистою сталлю має деякі особливості. До цих особливостей відносяться: отримання чистішої поверхні при гарячій механічній обробці, велику прогартовуваність і меншу схильність до знеуглецювання. Недоліками марганцевистої сталі є: **підвищена чутливість до перегріву, до утворення гартівних тріщин, схильність до відпускнуї крихкості**.

Хромомарганцева сталь (50ХГА) має глибоку прогартовуваність, високу міцність і відносно малу чутливість до перегріву, застосовується для виготовлення пружин і ресор великого перетину. Сталь добре гартується в маслі. Недоліком цієї сталі є **схильність до відпускнуї крихкості**.

Невелика (до 0,25%) присадка до хромової сталі ванадію позитивно впливає на структуру і пластичність сталі, а також зменшує її схильність до перегріву, внаслідок чого значно полегшується термічна обробка. Тому хромованадієва (50ХФА) і хромомарганцевованадієва (50ХГФА) сталі добре гартуються в маслі і **мало схильні до зростання зе-**

рна. Застосовуються вони для виготовлення клапанних пружин і ресор легкових автомобілів.

Сталі 60С2ХФА, 65С2ВА і 60С2Н2А застосовуються для найвідповідальніших і важконавантажених пружин. Ці сталі мало схильні до зростання зерна і прогартовуються в перетинах до 50 мм. Особливо високі якості має нікель-крем'яниста сталь 60С2Н2А, що легко відпалюючи структуру зернистого перліту, має високу пластичність, не підгартовується при охолодженні на повітрі після гарячого плющення і не дає обривів дроту при волочінні.

Для виготовлення пружин і пружних чутливих елементів спеціального призначення використовують **корозійно-стійкі і теплостійкі сталі і сплави типу 3Х2В8**, елінварні і високоелектропровідні сплави.

Елінвари – сплави з постійною, не змінюючою з температурою модулем пружності (Е, G), застосовувані для пружин точних приладів і камертонів. Сплави містять близько 36% Ni, 6-8% Cr, інше - залізо. Це такі сплави, як елінвари ЭИ25, ЭИ574, Н35ХМВ і НІСПЕН-С.

Температурний коефіцієнт модуля пружності сплаву 35НХМВ настільки малий, що, наприклад, забезпечує температурну хибку ходу годинника.

Сплави елінварів застосовують в нагартованому стані, а сплав НІСПЕН після гартування і відпуску або після гартування + відпуску + пластичної деформації.

Високохромові нержавіючі сталі 3Х13, 4Х13, 9Х18, 10Х18Н9, 09Х17Н7Ю, 08Х17Н5М3 та ін. (ГОСТ 5632-71) застосовуються для виготовлення плоских пружин, що працюють в корозійному середовищі і підвищених (до 500⁰С) і знижених температурах (до -180⁰С).

Пружні елементи із сталей, що працюють при динамічних навантаженнях в умовах низьких температур, **повинні мати високий опір крихкому руйнуванню**. Тому необхідно прагнути до **дрібнозернистості сталі**, однорідності структури і субструктури, підвищенню чистоти сталі щодо шкідливих домішок і неметалічних включень.

Дуже **важливі властивості, що визначають технологічність** ресорно-пружинних сталей як в процесі їх металургійного виробництва, так і при виготовленні пружинних елементів. До них відносять: **технологічну пластичність при гарячій і холодній пластичній деформації** (при плющенні, волочінні, згинанні, штампуванні та ін.), **схильність до перегріву і знеуглецювання** при термічній обробці та ін.

3.3 Термічна обробка пружин

Основними способами зміцнення пружинних сталей є: 1) холодна пластична деформація (деформаційний наклеп) з подальшим низькотемпературним нагрівом; 2) гартування на мартенсит з подальшим відпуском або динамічним старінням; 3) термомеханічна обробка.

3.3.1 Термічна обробка пружин, зміцнюваних холодною пластичною деформацією з подальшим відпуском

Перевагою таких пружин є простота і економічність технологічного процесу їх виготовлення поряд з високим комплексом властивостей, що забезпечують тривалу надійну експлуатацію. Відсутність гартування дозволяє отримати високу точність конфігурації і розмірів пружин при майже повній відсутності поверхневого знеуглецювання і окиснення, що різко знижує втомну міцність.

Для виготовлення пружин використовують термічно оброблену на заданий рівень міцності або холоднодеформований, заздалегідь термічно оброблений (звичайно патентований) дріт або стрічку. Зважаючи на невисоку пластичність оброблених на високу міцність сталей з них виготовляють пружини нескладної конфігурації.

Загартований і відпущений пружинний дріт або стрічка виготовляється з вуглецевих (68А, У7А-У12А) і легованих сталей (65ГА, 68ГА, 50ХФА, 60С2А, 70С2ХА). Стрічка за рівнем міцності поставляється за трьома групами: 1П, 2П і 3П. Із збільшенням номера групи вищий рівень міцності,

але менше в'язкість стрічки, визначувана за числом змінних згинань.

Пружини, виготовлені з термічно обробленої стрічки, піддають відпуску при 240-250⁰С протягом 1 год. для зменшення внутрішніх напружень і додаткового розпаду залишкового аустеніту, який може зберегтися в структурі вихідної стрічки.

В більшості випадків матеріалом для виготовлення пружин служить дрiт або **стрічка, одержана шляхом холодної пластичної деформації** (волочінням, плющенням) заготовок із заздалегідь підготовленою вихідною структурою. **Основним видом попередньої термічної обробки є патентування.** Одержана при цьому структура тонкопластинчатого перліту дозволяє виконувати холодну деформацію з високими ступенями обтискання. Сталь суттєво зміцнюється, зберігаючи пластичність і в'язкість, достатню для навивання пружин у холодному стані.

Режими відпуску пружин після навивання коливаються в широких межах. З огляду на те, що процеси при відпуску є тими, що термічно активуються, нижчій температурі повинна відповідати триваліша витримка. Найчастіше відпуск виконують при температурах 175-250⁰С. Для пружин з високовуглецевої сталі рекомендуються такі режими відпуску: нагрівання до 175⁰С з витримкою 2 год. або до 220-300⁰С, але з витримкою 1 год.; 350⁰С з витримкою 15 хв. або 450⁰С з витримкою 5 хв.

Для відпуску рекомендуються печі-ванни з гарячим маслом або розплавом солей. Недоліком розплавів солей є утворення сольової сорочки навколо витків, для видалення якої необхідна ретельна промивка, наприклад, у гарячому содовому розчині. Можна виконувати відпуск і в **електропечах** з вбудованими вентиляторами для інтенсивної циркуляції атмосфери, що забезпечує рівномірність низькотемпературного нагріву садіння.

При відпуску пружин у вільному стані відбувається їх деформація за рахунок зменшення залишкових напружень.

На спіральних пружинах з вуглецевої сталі, як правило, спостерігаються збільшення кута спіралі, зменшення зовнішнього діаметра (до 1,5%) і збільшення числа витків (до 1,25-2%). Зміну розмірів пружин при відпуску співвідносять з відповідним коригуванням розмірів оснащення для їх навивання.

3.3.2 Термічна обробка пружин, зміцнюваних гартуванням з відпуском

Для виготовлення пружин, зміцнюваних подальшим гартуванням з відпуском, використовують холоднодеформований відпалений дріт або стрічку, гарячекатаний або холоднокатаний сортовий прокат або катанку. У вихідному стані вказані напівфабрикати не характеризуються високою міцністю, але мають підвищену пластичність, що дозволяє виготовляти пружини складної конфігурації. Великі пружини виготовляють з використанням гарячої деформації.

Основним видом термічної обробки пружин є гартування з відпуском. Гартування повинне забезпечити отримання в структурі мартенситу без ділянок трооститу і з мінімальною кількістю залишкового аустеніту. Залишковий аустеніт має знижену межу пружності, що знижує опір сталі малим пластичним деформаціям. Можливе перетворення залишкового аустеніту в мартенсит спричиняє пониження стійкості релаксації і схильність до сповільненого руйнування. У зв'язку з цим доцільно після гартування проводити обробку холодом.

Для зниження схильності до крихкого руйнування і температури переходу з в'язкого стану в крихкий необхідно прагнути до отримання при нагріві **під гартування дрібнозернистого аустеніту** і до зниження рівня внутрішніх напружень при гартуванні. Для попередження поверхневого окиснення і знеуглецювання **нагрівання** пружин, особливо малої товщини (приладових і т.п.), слід **проводити в захисній атмосфері або у вакуумі.**

Остаточні властивості визначаються умовами відпуску. Режим відпуску необхідно вибирати з урахуванням призначення і умов навантаження пружних елементів в експлуатації. Для більшості пружин відпуск проводять при температурах, що забезпечують високі значення межі пружності.

Для широко застосовуваних вуглецевих і легованих пружинних сталей із вмістом 0,5-0,7% С характерна єдина закономірність зміни властивостей залежно від температури відпуску (рис. 2). **Максимальна межа пружності легованих сталей досягається при температурах відпуску 300-350⁰С, вуглецевих - 250⁰С.** Установлено, що при цьому сталь має також найбільшу втмону міцність і стійкість релаксації. Названі температури відповідають умовам досить повного розпаду залишкового аустеніту і утворення великого числа дисперсних частинок карбідів, когерентно пов'язаних з решіткою мартенситу і розміщених як в об'ємі кристалів, так і по межах двійників.

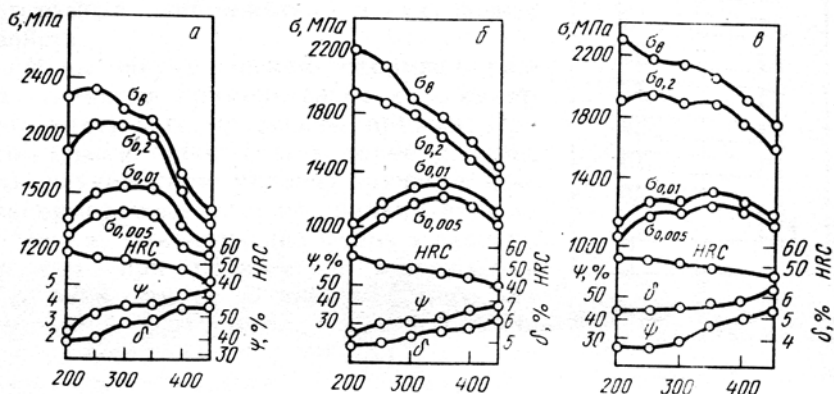


Рисунок 2 – Вплив температури відпуску на властивості загартованих сталей 60С2 (а), 50ХГ (б) і 50ХФА (в)

Релаксаційна стійкість сталевих пружин при рівних значеннях межі міцності **після гартування і відпуску вища, ніж після деформаційного наклепу і відпуску**, що пов'язане з більш рівномірним розподілом дислокацій в першому випадку.

Щоб уникнути небажаних змін у структурі (коагуляція карбідів та ін.), режим відпуску повинен бути строго регламентований за температурі і тривалості. Наприклад, максимальне значення межі пружності для сталі У10А досягається після гартування і відпуску при 250⁰С протягом 15 хв.

Вищі межі пружності, в'язкості і втомна міцність досягаються при ізотермічному гартуванні пружинних сталей з отриманням структури нижнього бейніту.

Додатковий відпуск сталей із структурою нижнього бейніту при температурах, близьких до температури утворення цієї структури, ще більше підвищує пружинні властивості сталей. Цей **процес названий подвійною ізотермічною обробкою**. Слід зазначити, що наявність верхнього бейніту недопустима, тому що погіршує весь комплекс властивостей.

При виконанні гартування і відпуску пружин необхідно передбачати заходи щодо зменшення їх деформації.

Подальша правка пружинних елементів небажана, тому що викликає появу залишкових напружень і погіршення властивостей.

Заходи щодо зменшення деформації розробляються стосовно конкретних видів і типорозмірів пружин. При цьому можна використовувати такі прийоми, як рівномірне укладання пружин в піч (наприклад, в швелерні балки); пристрої, що фіксують форму і розміри пружин при нагріві і охолодженні (рис. 3, 4); відпуск на облямовуванні або для плоских і тарілчастих пружин в пресах з електропідігрівом. Ефективним засобом зменшення деформації є ізотермічне гартування.

Повна відсутність викривлення досягається при нагріванні і охолодженні пружини, надітої на циліндрове облямовування, зовнішній діаметр якої дорівнює внутрішньому діаметру пружини. Недоліком такого способу є те, що в місцях зіткнення витків з облямовуванням пружина не прожарюється.

Введення в технологічний процес операції динамічного старіння (відпуск перед навантаженням) пружинних сталей забезпечує вищі властивості, ніж після гартування і звичного відпуску.

Відпуск під навантаженням слід виконувати безпосередньо після гартування або, що більш ефективно, після гартування і попереднього низького відпуску. Попередній відпуск рекомендується виконувати при 150°C для сталей з 0,5% С, при 170°C - для сталей з 0,6-0,7% С і при 300°C - для високовуглецевих сталей.

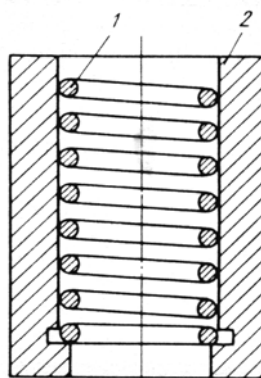


Рисунок 3 – Пристрої для гартування пружин стиснення: 1- пружина; 2 - облямовування

Температура відпуску під навантаженням залежить від складу сталі і, як правило, повинна бути вищою за температуру попереднього відпуску.

Режими термічної обробки і механічні властивості деяких пружинних сталей наведені в табл. 1.

Тривалість відпуску також суттєво впливає на остаточні властивості сталей. Показано, зокрема, що для сталі 65Г максимум меж пружності і текучості досягається при відпуску 350°C протягом 40-60 хв.

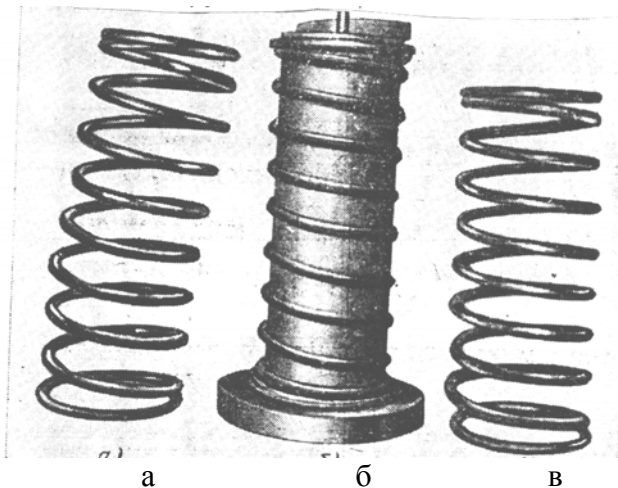


Рисунок 4 – Пружина: а – загартована; б – на облямовуванні перед відпуском; у – готова (після гартування і відпуску)

Термічна обробка пружних елементів з корозійно-стійких сталей

Пружини із сталей мартенситного або аустенітно-мартенситного, вуглецевих і легованих навіть при експлуатації їх в повітряному середовищі вимагають захисту від корозії за допомогою гальванічних покриттів – цинкування і кадміювання. **Всі гальванічні покриття небезпечні навуглецьовуванням.** Тому пружні елементи, що працюють в агресивних середовищах, виготовляють з корозійно-стійких сталей.

Для виготовлення пружин, що працюють в слабоагресивних середовищах, використовують сталі 30X13, 40X13. Навивання ведуть нагаряче; потім проводять гартування при 1000-1050⁰С у воді або маслі. Якщо пружини працюють при температурах до 300-350⁰С або до 500-550⁰С, то і відпуск після гартування робиться при цих температурах.

Більш підвищена корозійна стійкість у сталі 14X17H2 після гартування з 1000⁰С і відпуску при 300-350⁰С.

Таблиця 1 - Режими термічної обробки і механічні властивості (мінімальні)
ресорно-пружинних сталей загального призначення

Марка сталі	Критичні точки		Режим термічної обробки			Механічні властивості			
	As ₁	As ₃	t _{зак} , °C	гартівне середо-вище	t _{отп} , °C	σ _{0,2} , МПа	σ _β , МПа	δ, %	φ, %
65	727	782	840	Масло	470	800	1000	10	35
85	730	-	720	->-	470	1000	1150	8	30
У10А	730	-	770-810	Масло або вода	300-420	-	-	-	-
65Г	-	-	830	Масло	470	800	1000	8	30
55С2	775	840	870	Масло або вода	470	1200	1300	6	30
60С2	750	820	870	Масло	470	1200	1300	6	25
50ХГ	750	775	850	->-	470	1200	1300	7	35
50ХГР	750	790	850	->-	470	1200	1300	7	35
50ХФА	-	-	850	->-	470	1100	1300	8	35
60С2Н2А	-	-	870	->-	470	1350	1500	8	30
70С3А	-	-	850	->-	470	1500	1700	6	25

Хорошу корозійну стійкість мають сталі аустенітно-мартенситного класу з низьким вмістом вуглецю **09X15H8Ю, 09X17H7Ю1, 08X17H5M3** після гартування при **900-950⁰С**, обробки холодом при **-70⁰С** 2-3 год. і старіння при **450-500⁰С**.

Немагнітні пружини виготовляються із сталей аустенітного класу **08X18H10Т, 12X18H9Т, 37X12H8Г8МФБ**.

Після гартування сталей при температурі **1100-1150⁰С** їх піддають зміцненню пластичною деформацією з великими ступенями обтискання і після навивання проводять відпуск при **450-500⁰С**.

3.3 Технологія термічної обробки ресор

За конструкцією і умовами роботи ресори транспортних пристроїв представляють окрему групу пружних елементів.

Технологія виробництва ресор характеризується рядом особливостей і розглянута в даному розділі на прикладі автомобільних ресор, що займають переважний об'єм у загальному виробництві ресор транспортних машин.

За умов роботи ресорні листи повинні мати високий опір статичним і циклічним навантаженням, фретинг-утомленості, просіданню і стиранню. Переважаючим видом навантаження є циклічний згин.

Експериментальні дані показують, що хімічний склад ресорних сталей (крім вмісту вуглецю) робить незначний (в межах 10-15%) вплив на характеристики циклічної міцності. Основна мета легування ресорних сталей полягає в **забезпеченні повної прогартуваності** ресорних листів. При цьому використовують дешеві і недефіцитні легуючі елементи, що збільшують прогартуваність сталі.

Можливість підвищення циклічної міцності ресорних сталей за рахунок легування обмежена також економічними міркуваннями. У літературі є відомості, що

ефект із збільшення довговічності за рахунок легування становить 10-15%, а вартість додаткового легування, як правило, вища. **Рафінування сталі** за рахунок, наприклад, використання **електрошлакової переплавки і синтетичних шлаків** для ресор масового випуску також економічно не виправдано у зв'язку з підвищенням втомної міцності на 10-20% при збільшенні вартості сталі на 30-50% в порівнянні із сталлю мартенівської виплавки.

Для виготовлення ресор ГОСТ 14959-79 передбачає 25 марок сталі. У виробництві автомобільних ресор використовують в основному сталі 60С2 (55С2), 60ХГС, 50ХГ (50ХГА) і у меншій мірі (для ресор легкових автомобілів) сталі 50ХГФА і 50ХФА. Рядом робіт показана перспективність сталі 55ХГР, що містить 0,001-0,003% В.

Основними технологічними характеристиками ресорних сталей є **схильність до перегріву і знеуглецювання**, стійкість аустеніту, що переохолоджує. Порівняння сталей 60С2, 50ХГ і 55ХГР показало максимальну схильність сталі 60С2 до знеуглецювання і мінімальну стійкість аустеніту. Інтенсивне зростання зерна у сталей 60С2 і 55ХГР починається при нагріві більше 9500С, у сталі 50ХГ - більше 900⁰С.

Діючий у цей час на більшості заводів технологічний процес (табл.2) виробництва листових автомобільних ресор включає рубку гарячекатаних смуг на мірні заготовки, дороблювальні операції (видавлювання фіксуєчих кнопок, пробивку отворів для стягуючих болтів, відгинання кінців, загинання вушок), термічну обробку, в процесі якої проводять згинання смуг, дробострумінний наклеп (двосторонній або, принаймні, з боку угнутої поверхні), осідання і контроль.

Принципова технологічна схема лінії для комплектної термічної обробки ресорних листів наведена на рис. 5.

Таблиця 2 – Технологічна карта термічної обробки ресорних листів

Марка сталі	Хімічний склад, %							Твердість		Профіль листа, мм
	З	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	після гартування	після відпуску	
55С2	0,52-0,60	1,50-2,00	0,60-0,90	≤0,30	≤0,40	≤0,04	≤0,04	HRC 50-60	HB 40-44	6,5x63
Найменування операцій	Обладнання	Пристрої	Режим термічної обробки			Примітка				
			температура, °С	час витримки, хв.	середовище охолодження					
1 Нагрів під гартування	Конвеєрна гартівна пекти		I зона – 900-950 II зона – 950-980 III зона – 950-980		9-11		Укладання ресорних листів на конвеєр згідно з штампами, встановленими на згинально-гартівній машині			
2 Гнучка, видавлювання двох опуклостей і гартування	Згинально-гартівна машина	Згинально-гартівні штампи				Масло веретенне № 3 40-60				
3 Контроль: а) двох опуклостей; б) твердості (2 листи); в) прилягання листів (1 ресора в зборі)	Прес Бринеля	Шаблон, лупа щуп					Зачистка майданчика для контролю твердості на наждачному жорні			
4 Відпуск	Конвеєрна відпускна піч		550-600		45	Повітря	При відпуску ресорні листи в піч укладати на ребро			
5 Контроль твердості	Прес Брінеля	Лупа					Зачистка майданчика для контролю твердості на наждачному жорні			
6 Обдування дробом	Дробоструминна установка									

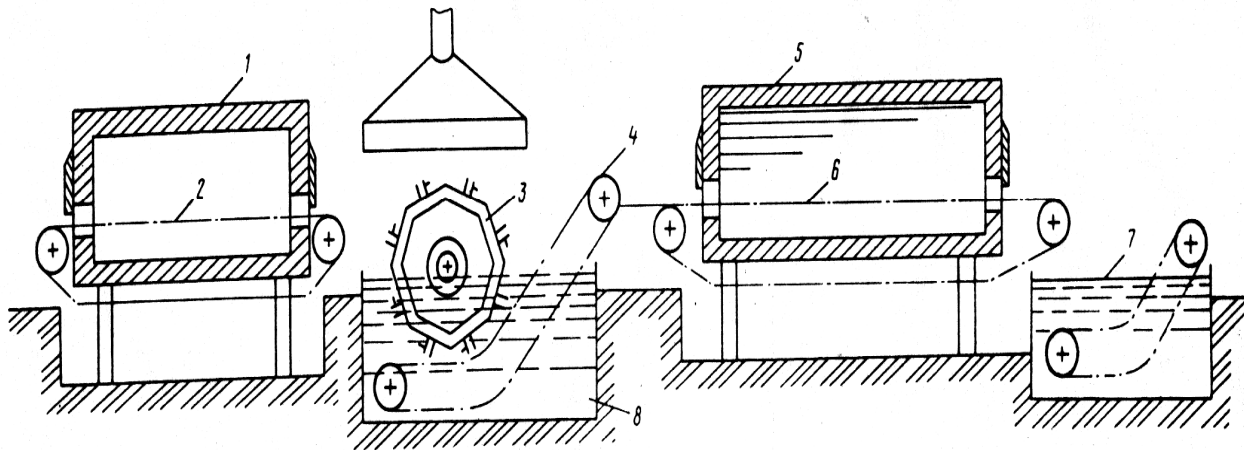


Рисунок 5 – Технологічна схема лінії для термічної обробки ресорних листів:

1 – конвеєрна піч для нагріву під гарт; 2 – конвеєр гартівної печі;

3- згинально-гартівний барабан; 4 – транспортер гартівного бака; 5 – відпускна

піч; 6 – конвеєр відпускної печі; 7 – водяний бак; 8 – масляний бак

Для нагріву під гартування використовують газові або електропечі. З метою підвищення продуктивності ліній використовують форсований нагрів, що передбачає значний перепад температур між піччю і металом, що нагрівається. З урахуванням допустимих меж можливої точності підтримки температури в печі і швидкості проходження конвеєра через піч температуру в печі підтримують в межах 980-1000⁰С для листів із сталі 60С2 і в межах 880-900⁰С - із сталі 50ХГ. При цьому тривалість нагріву листів завтовшки 6-10 мм під гартування вибирають в інтервалі 10-25 хв.

Нагріті листи укладають в згинально-гартівний штамп, встановлений на багатопозиційному (на 8-12 позицій) барабані. Штамп закривають і цим забезпечують згинання листа; барабан повертається, занурюючи лист в гартівне масло. Для запобігання деформації листів тривалість їх охолодження в штампі повинна становити 40-60 с. З гартівного штамп листи потрапляють на транспортер, що переміщає їх із масляного бака до відпускнуї печі. Швидкість транспортера і його протяжність у масляному баку визначаються часом, необхідним для охолодження листів до температури 140-150⁰С.

Відпуск листів здійснюється в конвеєрній електропечі з укладанням листів на ребро перпендикулярно напрямку руху конвеєра. Температура відпуску для сталей 60С2 і 50ХГ відповідає 450-480⁰С. Після відпуску листи охолоджуються у воді (у душовому пристрої), що дозволяє прискорити технологічний цикл, а також сприяє усуненню схильності до відпускнуї крихкості другого роду.

Описана технологія є основою в практиці діючих заводів. Проте їй властивий ряд недоліків, пов'язаних з трудністю комплексної автоматизації всього процесу. Подальше вдосконалення технології виробництва ресор вимагає створення комплексно автоматизованих агрегатів і нових технологічних схем, що ґрунтуються на використанні сучасних методів зміцнення (ТМО, гартування при індукційному нагріві та ін.).

Новим прогресивним методом термічної обробки ресор є процес, при якому **листи піддають подвійному гартуванню і відпуску**. Перше (попереднє кризне) гартування виконують для зміцнення серцевини листа і підготовки вихідної структури для того, щоб при другому (поверхневому) гартуванні з використанням швидкісного індукційного нагріву одержати поверхневий загартований шар на глибину 0,15-0,2 від товщини листа з дуже дрібним зерном аустеніту (14-15 балів за ГОСТом 5639-82). При поверхневому нагріві для другого гартування серцевина листа відпускається на твердість HRC 38-40.

Наявність такого дрібного зерна в поєднанні з високими залишковими напруженнями стиснення в поверхневому загартованому шарі з твердістю HRC 58-59 і зміцненням серцевини на твердість HRC 38-40 забезпечує високий опір листів статичним і циклічним навантаженням.

У автоматичній лінії для термічної обробки за новим методом ресорні листи завтовшки 18 мм із сталі 60С2 переміщуються через ряд послідовно розміщених індукторів і спреєрів.

Використання нового методу дозволяє підвищити довговічність ресор, зменшити їх металоємність, повністю автоматизувати процес термічної обробки.

3.4 Термомеханічна обробка ресор і пружин

Прогресивним напрямом зміцнення ресор і пружин є термомеханічна обробка пружинних сталей. Практична реалізація цієї обробки можлива при включенні деформації в технологічний цикл виготовлення ресор і пружин, використовуючи гарячу деформацію при виготовленні пружинного дроту і прутків (гаряче плющення і волочіння), при плющенні ресорних смуг, а також при гарячому навиванні пружин.

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО). При ВТМО ресорних сталей **температуру аусте-**

нізації беруть на 100-150⁰С вище Ас₃, ступінь деформації 25-50% при одночасному обтисканні і до 70% - при дробовій деформації. У результаті ВТМО досягається зростання статичної і втомної (у тому числі і малоциклової) міцності, опору руйнуванню, пластичності і ударної в'язкості; пониження температури порогу холодноламкості, усунення оборотної відпускну крихкості і зменшення водневого окрихчування при нанесенні гальванічних антикорозійних покриттів.

Найбільша ефективність від ВТМО досягнута на сталях, що містять карбідоутворювальні елементи, – хром, ванадій, молибден, цирконій, ніобій і т.п. (сталі марок 50ХМФ, 50Х5СМЗФ та ін.).

Важливою перевагою ВТМО, що розширює сферу її застосування, є **спадкоємність субструктури**, створеної цією обробкою, навіть після повторного гартування. Схема обробки, що використовує спадкоємне термомеханічне зміцнення (СТМЗ), наведена на рис. 6.

При СТМЗ після термомеханічної обробки проводять високий відпуск, що дозволяє здійснювати холодну пластичну деформацію, зокрема навивання пружин (після цієї деформації доцільно провести додатковий відпуск при 600⁰С), а потім повторне гартування з прискореним індукційним нагрівом в соляній ванні і остаточний відпуск.

Температура проміжного високого відпуску звичайно становить 600-650⁰С, при подальшому підвищенні температури ефект спадкоємності зміцнення значно знижується.

Перспективним методом обробки пружинних сталей є додаткове зміцнення холодною пластичною деформацією, здійснюваною після ВТМО.

У результаті остаточного відпуску при 250⁰С зберігаються зміцнювальні характеристики сталі, і підвищується її пластичність.

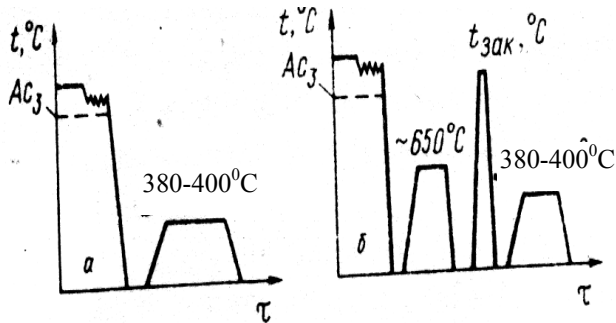


Рисунок 6 – Технологічні схеми «прямої» ВТМО (а) і ВТМО з використанням спадкоємного термомеханічного зміцнення (б)

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО). Вона дозволяє отримати високий комплекс пружинних властивостей на вуглецевих (У7А) і легованих сталях (70С2ХА і ін.), що пов'язане як із спадкоємністю мартенситом структури дислокації деформованого аустеніту, так і з розвитком бейнітного перетворення в процесі пластичної деформації. **Найсильніше після НТМО збільшується межа пружності.** Ефект зміцнення при НТМО, як правило, вище, ніж при ВТМО. З погляду практичного виконання НТМО є складнішою обробкою. Повторне гартування майже повністю знімає ефект НТМО.

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

3.5 Вплив якості поверхні, знеуглецювання і поверхневої обробки на властивості пружинних елементів

Знеуглецьований шар практично завжди наявний на поверхні ресор і пружин. Він утворюється на всіх стадіях технологічного переділу, вироблюваних з нагрівом сталі (при плющенні, волочінні та ін.). Відповідно до ГОСТу 14959-79 допускається глибина знеуглецьованого шару для всіх сталей до 2% товщини прокату (при перети-

ні до 8 мм) і до 1,5% (при перетині понад 8 мм); для сталей, легованих кремнієм, глибина цього шару на 0,5% вища. Нагрівання сталі для формоутворення пружних елементів і їх термічної обробки викликає подальше збільшення глибини шару і ступеня знеуглецювання особливо на великих пружинах і ресорах у зв'язку з великою тривалістю їх нагрівання.

Поверхнєве знеуглецювання погіршує міцність при статичному і багатоцикловому навантаженні і стійкість релаксації, тобто основні характеристики, що визначають довговічність пружних елементів в експлуатації. Це погіршення дуже суттєве; втомна міцність при глибині знеуглецювання 0,1 мм знижується в два рази.

Негативний вплив знеуглецювання на опір багатоциклової утомленості з виникненням залишкових розтягуючих напруг полегшує поширення втомної тріщини. **Стискаючі напруги перешкоджають зародженню і поширенню втомної тріщини і приводять до значного підвищення циклічної міцності.**

Знеуглецьований шар може надати і позитивну дію, декілька підвищуючи опір сталі корозійному руйнуванню, опір руйнуванню при ударних навантаженнях, малоциклової утомленості, особливий за наявності на поверхні гострих концентраторів напружень.

Заходами зменшення негативних наслідків поверхневого знеуглецювання є використання швидкісного нагріву, захисних покриттів, контрольованих і науглецьовувальних атмосфер, зачистка прокату, застосування поверхневого зміцнення, особливо поверхневої пластичної деформації (наклепу дробом). Економічно виправданий і інший шлях – модифікація хімічного складу сталі за рахунок легування її сильними карбідотворювальними елементами. За рахунок скріплення вуглеця в карбіді і зменшення його дифузійної рухливості можливе зменшення знеуглецювання.

Пружні елементи із сталей загального призначення мають низьку корозійну стійкість, що не дозволяє використовувати їх в агресивних середовищах. Для попередження корозії, що викликає зниження механічних властивостей, широко використовують гальванічні покриття металами (хромування, кадміювання, цинкування і ін.). При їх нанесенні неминуче відбувається наводорожування, і при цьому підвищується крихкість пружин. З метою обезводорожування пружини після нанесення гальванічних покриттів піддають низькому відпуску при 150-250⁰С. Тривалість витримки залежить від типу покриттів і складає від 2 год. (після хромування) до 12 год. (після кадміювання). Краще проводити відпуск у вакуумі 1,33-0,13 Па.

Окрім металевих покриттів, використовують також оксидування і фосфатування.

3.6 Контроль якості пружних елементів

Контроль якості найпоширеніших в техніці гвинтових і циліндрових пружин включає такі операції.

Зовнішній огляд. На поверхні пружин не допускаються тріщини, риски, волосовини й інші грубі дефекти. Для контролю відповідальних пружин використовують **магнітну або люмінесцентну дефектоскопію**. Часто використовується **обтискання до зіткнення витків**, при цьому пружини з патентованого дроту при першому обтисканні дають залишкову деформацію, при подальших обтисканнях значної зміни вільної висоти не спостерігається, пружина стає стабільною.

Динамічні випробування. Ці випробування виконують на копрах під ударами вільно падаючої баби. Якість пружин оцінюється зовнішнім оглядом і вимірюванням вільної висоти.

Випробування тривалим навантаженням (заневолювання). Вони характеризують стійкість релаксації пружин. Їх застосовують для особливо відповідальних пружин.

жин, експлуатованих при динамічних і циклічних навантаженнях.

Заневолювання виконують шляхом витримки пружин у стиснутому стані протягом певного часу при кімнатній або підвищених температурах.

Тривале заневолювання (у течію не менше 12 год.) застосовують для пружин, поломка яких може викликати аварію механізму. При цьому випробовують надійність пружини при тривалому навантаженні і досягають обмеження релаксації, тобто збереження несучої здатності пружини у встановлених допусками межах при заданому її осіданні. При витримці під навантаженням в осаді відбувається релаксація напружень, що виявляється в осаді пружин; при подальшій експлуатації осідання пружин збільшується трохи. Заневолювання звичайно проводять при напруженнях на 10% вище за робочі напруження в готовій пружині. Для великих гвинтових пружин рекомендують заневолювання при напруженнях $0,5\sigma_{0,2}$ протягом 20-30 год.

Для менш відповідальних пружин (пружини клямок, ручних приводів і т.п.) використовують короткочасне заневолювання протягом 2-3 хв.

Позитивно впливає на якість пружин тепле заневолювання (термофіксація), що підвищує межу пружності, стійкість релаксації і обмежену витривалість пружин. Теплове заневолювання рекомендується виконувати в облямовуваннях, що фіксують геометричні розміри пружини.

Випробування на твердість. Майже всі пружні елементи контролюють на твердість або на самому виробі, або на зразках-свідках.

4 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1 Провести відпал зразків сталей, виданих викладачем.

4.2 Дослідити мікроструктуру і властивості зразків; описати результати досліджень.

4.3 Згідно з індивідуальним завданням викладача підібрати марку сталі для конкретного виробу – пружного елемента.

4.4 Розробити маршрутну технологію зміцнення вказаного виробу з урахуванням вибраної марки сталі і зазначенням температур нагріву і способів охолодження та ін.

4.5 Провести термічну обробку зразків вибраної марки сталі згідно з маршрутною технологією.

4.6 Виготовити макро- і мікрошліфи і дослідити структуру і властивості. Описати результати досліджень.

4.7 За наслідками роботи зробити висновки і дати рекомендації.

4.8 Надати викладачу письмовий звіт і демонстративний матеріал (мікро- і макрошліфи).

4.9 Захистити роботу тестовим контролем.

Примітка. Робота виконується групами з 3-5 студентів.

5 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

5.1 Як класифікують пружини за характером роботи?

5.2 Як розрізняються пружини за формою?

5.3 Основною робочою характеристикою пружини є...

5.4 Які фактори впливають на довговічність і надійність пружин і ресор?

5.5 Які вуглецеві сталі використовують для виготовлення пружин і ресор?

5.6 Які легуючі елементи підвищують межу пружності?

5.7 Яке співвідношення значення межі пружності до межі міцності рекомендується в пружинно-ресорних сталях?

5.8 За властивостями в стані поставки вуглецеві сталі розділяють на такі групи...

5.9 Які сталі використовують для виготовлення пружин і ресор?

5.10 Які недоліки крем'янистих сталей обмежують використання їх для виготовлення пружин і ресор?

5.11 Які недоліки марганцевистих сталей обмежують використання їх для виготовлення пружин і ресор?

5.12 Яка основна властивість обмежує використання для виготовлення пружин і ресор з вуглецевих сталей?

5.13 Які сталі використовують для виготовлення пружин точних приладів?

5.14 Найважливішою властивістю сталей, що визначає технологічність пружинних елементів, є...

5.15 Назвіть основні способи зміцнення пружинних сталей.

5.16 Що таке патентування?

5.17 Якому виду термічної обробки піддають після навивання пружини, виготовлені з патентованих сталей?

5.18 Якому виду термічної обробки піддають після навивання пружини, виготовлені із сталей, зміцнених пластичною деформацією?

5.19 Яке устаткування рекомендується для проведення відпуску пружин, виготовлених з патентованого дроту або після пластичної деформації?

5.20 Як досягаються вищі межі пружності, в'язкості і втомна міцність?

5.21 Що є процесом термічної обробки «подвійна термічна обробка», використовувана при зміцненні пружинних сталей?

5.22 Яке гартування використовується для запобігання деформації пластинчастих пружин?

5.23 Яке гартування рекомендується для циліндрових витих пружин?

5.24 Назвіть умови роботи ресорних листів.

5.25 Чим викликано використання легованих сталей для виготовлення ресор?

5.26 Чи доцільно економічно використовувати для виготовлення ресор сталі після електрошлакової переплавки.

5.27 Основний недолік легованих сталей, використовуваних для виготовлення ресор.

5.28 Назвіть новий прогресивний метод термічної обробки ресор, розроблений останнім часом.

5.29 Яка величина зерна аустеніту в ресорно-пружинних сталях забезпечує якнайкращі експлуатаційні властивості виробів?

5.30 Яка твердість серцевини ресори переважна при подальшому гартуванні поверхні струмами високої частоти?

5.31 Яка твердість поверхні ресори при подвійному гартуванні?

5.32 Яка температура високотемпературної термомеханічної обробки ресор?

5.33 Як змінюється циклічна міцність ресор при зміцненні ВТМО?

5.34 Як змінюється температура порогу холодноламкості ресорних сталей при зміцненні ВТМО?

5.35 Наявність в сталях карбідоутворювальних елементів підсилює (зменшує) вплив ВТМО на експлуатаційні властивості.

5.36 Що передбачається після зміцнення високотемпературною термомеханічною обробкою ресор?

5.37 Коли вищий ефект зміцнення ресор, після ВТМО або НТМО?

5.38 Як можна зменшити негативний результат поверхневого знеуглецювання?

5.39 Чому піддають пружні елементи для попередження корозії?

5.40 Чому піддають наводорожування пружні елементи?

5.41 Що таке заневолювання?

5.42 У чому полягає контроль якості пружин?

5.43 У чому полягає контроль якості ресор?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лахтин Ю.М., Рахштадт А.Г. Термическая обработка в машиностроении: Справочник. –М.: Машиностроение, 1980. -783 с.

2. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. -527 с.

Лабораторна робота 4
«Технологія і обладнання для термічної
обробки деталей в тракторному і
сільськогосподарському машинобудуванні»
(тривалість роботи - 6 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити умови експлуатації деталей машин тракторного і сільськогосподарського призначення.

1.2 Навчитися вибирати матеріали і розробляти технологічні процеси зміцнення.

1.3 Дослідити зразки мікрошліфів, представлених викладачем, з деталей тракторного і сільськогосподарського призначення.

2 ОБЛАДНАННЯ І МАТЕРІАЛИ

2.1 Установка для поліровки мікрошліфів.

2.2 Металографічні мікроскопи МІМ-7, ММУ-3.

2.3 Мікрошліфи сталей після відпалу, гартування СВЧ, об'ємного гартування, борованих зразків.

2.4 Об'єкт – мікрометри.

3 ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

3.1 Термічна обробка дрібних деталей

У тракторному і сільськогосподарському машинобудуванні до наймасовіших дрібних деталей належать деталі роликів ланцюгів (ролики, втулки, вали, пластини), корпуси прес-маслянок консистентного мастила, ніпелі рукавів високого тиску, самонарізне і самоконтрольоване кріплення, нормалі, пружинні шайби, осі, фланці та ін.

Дрібні деталі виготовляють із сталей 08КП, 15, 20, 20Х, 45, 65Г, 18ХГТ та ін.

Значного поширення набувають нові способи виготовлення перелічених вище деталей методом листового штампування, холодного видавлювання і висадки.

Відомо, що одна з умов вирішального впливу на якість термічної обробки дрібних деталей надає розміщення деталей в печі під час нагріву, спосіб занурення деталей в гартівну рідину, інтенсивність і рівномірність охолодження всієї гартованої маси деталей.

На термічну обробку дрібні деталі надходять після остаточної механічної обробки, тому технологічний процес і вибране обладнання повинні зберігати деталі, зокрема, деталі із зовнішніми різьбами, від окиснення, знеуглецювання, забоїн та ін., пошкоджень форми.

Працездатність багатьох сільськогосподарських машин залежить від довговічності роликів ланцюгів. Технологічні умови на якість термічної обробки деталей ланцюгів дуже жорсткі, наприклад, коливання товщини нітроцементованого шару по перетину повинно бути в межах $\pm 0,02$ мм; розкид твердості на поверхні не більш 1-2 HRC; повинне бути рівномірне падіння твердості по глибині. Все це забезпечує достатньо високу зносостійкість ланцюгам і високу втомну міцність.

Для того щоб забезпечити такі жорсткі технічні умови на якість термічної обробки, потрібне виконання особливих умов технології термообробки. А саме в умовах масового виробництва дрібні деталі не рекомендується розміщувати «навалом», оскільки при цьому не забезпечується рівномірний нагрів, рівномірне обмивання технологічним газом зовнішніх і внутрішніх поверхонь всіх деталей. За час пересування деталей з останньої зони печі до гартівної рідини дрібні деталі не повинні нерівномірно підстигуватися, щоб уникнути нерівномірного гартування і т.д.

Основними видами термічної обробки дрібних деталей є цементація, нітроцементація, світле гартування, безокиснювальне нагрівання із застосуванням контрольованих атмосфер.

3.1.1 Технологія і обладнання для хіміко-термічної обробки дрібних деталей.

Для забезпечення надійності і довговічності роликів ланцюгів, корпусів прес-маслянок, самонарізного кріплення. Особливе значення має правильний вибір зміцнювальної термічної обробки.

Найвищі властивості деталей ланцюгів (валів, втулок, роликів) досягаються у разі застосування нітроцементації за такими режимами:

- температура нітроцементації, °C	870±10
- загальний час витримки, хв.:	
для шару 0,2-0,3 мм	100-120
для шару 0,4-0,6 мм	180-300
- охолоджуюче середовище для легованих сталей	-масло
- температура відпуску, °C	- 190±10
- тривалість відпуску, хв.	- 45
Склад газового середовища, %:	
ендогаз	... 77
природний газ	... 20
аміак	... 3
- кількість газової суміші в пічному просторі	5-кратний об'єм газу в муфелі протягом 1год.

Після такої термічної обробки вміст вуглецю і азоту в поверхневому шарі становить: азоту - близько 0,3%, вуглецю - близько 0,8%.

При виборі обладнання для нітроцементації необхідно забезпечити безпосереднє гартування з нітроцементаційного нагрівання охолодження здійснювати з урахуванням рівномірності температур нагрівання деталей перед гартуванням.

Основні технічні вимоги креслень дрібних деталей подані в табл. 1.

Таблиця 1

Тип виробу	Найменування деталі	Марка сталі	Товщина нітроцементацийного шару, мм	Твердість, НРС
Роликові ланцюги ПРД 38-3000	Вал	20Х, 20Г	0,3-0,7	54-62
	Втулка	10, 15, 20	0,2-0,5	54-62
	Ролик	10, 15, 20	0,2-0,5	47-55
	Пластини	45, 50	-	32-40
Прес-маслянка типу 1.2; 1.3	Корпус	08КП	0,1-0,3	≥ 56
Самонарізуюче кріплення	Гвинти Ø 4x8; 6x8	08КП	0,08-0,25	≥ 56
	М6 з напівкруглою головою	10КП	0,08-0,25	≥ 56

Для нітроцементациї дрібних деталей найчастіше використовують автоматичні установки барабанного типу, які забезпечують якісний дифузійний шар після нітроцементациї і хорошу рівномірно загартовану структуру мартенситу після гартування. Установка забезпечує безокиснювальне нагрівання. Названа установка зображена на рис. 1.

Установка складається із завантажувального барабана 1, камери нагріву 2 (яка має дві або три термічні зони) з розміщеним в ній муфелем зі шнеком 3, розвантажувальним пристроєм 4, механізмом приводу обертання муфеля 5, бака для гартування 6 з віброелеватором для вивантаження деталей, електроустаткування, приладів контролю, автоматичного регулювання температури, складу технологічних газів та ін.

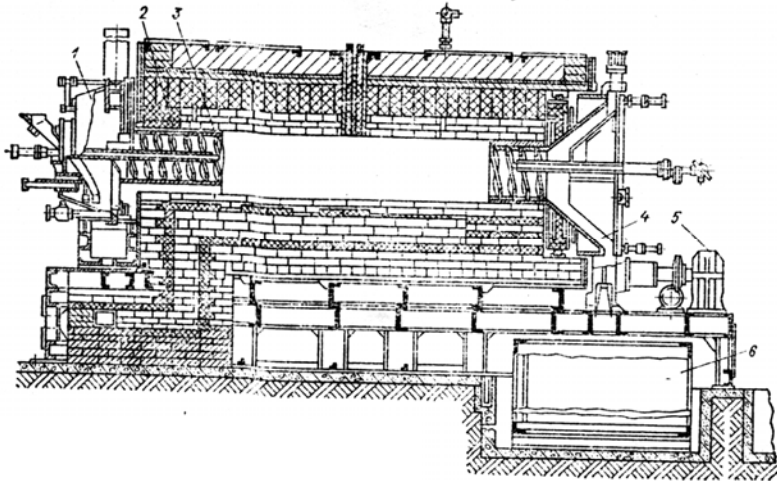


Рисунок 1 – Автоматична установка для нітроцементації і гартування дрібних деталей

Завантажувальний пристрій є барабаном, герметично з'єднаним з муфелем. Віброелеватор забезпечує акуратну бездеформаційну доставку деталей у гартівне середовище.

Технологічні гази подаються в муфель з боку завантаження деталей. Для контролю і регулювання вуглецевого потенціалу технологічної атмосфери є спеціальна установка з оптико-акустичним газоаналізатором.

У таблиці 2 подані основні технічні характеристики обладнання для термічної і хіміко-термічної обробки дрібних деталей робочих вузлів тракторних і сільськогосподарських машин.

У дрібносерійному виробництві для хіміко-термічної обробки можуть бути легко вбудовані в потік і рекомендовані шахтні печі типу СШЦМ.

Таблиця 2 – Основні технічні дані автоматичних установок для термічної і хіміко-термічної обробки дрібних деталей

Показник	Призначення типових автоматичних установок. Індекс креслення							
	Безперервна газова нітроцементация (цементация) і гартування		Світле гартування		Світлий відпал	Безокиснювальний і високотемпературний відпуск або відпал	Газова цементация без гартування, світлий відпал або середньотемпературний відпуск	Низькотемпературний відпуск
	И120М	И095	И135	И075	И072М	И121М	И072	И141
Максимальна робоча температура, °С	950	950	950	950	950	750-950	950	300
Число температурних зон	3	3	2	3	2	2	2	2
Максимальна витрата газу на обігрів, м ³ /год.	35	-	32	-	-	-	-	-
Встановлена потужність, кВт	3,5	163	3,5	163	140	2,2	160	78
Розміри робочого простору, мм: - внутрішній діаметр муфеля - активна довжина муфеля	440 3760	450 3700	440 2800	430 2800	430 3640	440 3640	450 2800	460 3640
Число витків шнека, шт.	27	27	20	20	24	24 (активних – 20)	20	25
Робочий об'єм одного витка шнека, л	3,4	3,4	3,4	3,4	3,2	3,4	3,4	3,4
Максимальна продуктивність, кг/год.	180 *	180 *	200	150 *	150	300	130	250-300
Габаритні розміри, мм	6650х х3000х х2800	6664х х3000х х2500	5500х х3000х х2800	5400х х3000 х2800	6500х х2000х х2300	6100х3000х х2800	6250х3110х х2800	5700х х1800х х2800
Витрата технологічного газового середовища (у муфелі), м ³ /год.	5-6	5-6	5-7	5-7	5-7	5-7	5-6	-

* При глибині нітроцементованого шару 0,3-0,7 мм.

3.1.2 Технологія і обладнання для світлого гартування і відпуску

Для оберігання поверхні деталей ланцюгів з вуглецевих сталей 45 і 50, пружинних шайб із сталі 65Г від окиснення і знеуглецювання необхідне застосування світлого гартування з подальшим безокиснювальним відпуском (для пластини ланцюгів). Склад атмосфери для нагрівання під гартування ЕН-60 (ендогаз 60): 18-20% С; 38-43% Н₂; < 0,3% СО₂; <1,0% СН₄ інше N; точка роси -2 - -40⁰С. Для безокиснювального відпуску при 490±10⁰С застосовується екзогаз, %: 1,8-2,2СО; 2,2-2,4Н₂; СО₂ – сліди; інше - азот; точка роси -40⁰С. Гартування пластин рекомендується в масло індустриальне И-20А з температурою 40-80⁰С.

3.1.3 Технологія і обладнання для безокиснювального відпалу

У зв'язку з виробництвом багатьох деталей тракторного і сільськогосподарського машинобудування прогресивними процесами пластичної деформації, листовим штампуванням, холодним видавлюванням, висадкою, особливу значущість набуває після цього технологія безокиснювального відпалу. При цьому відпалом необхідно забезпечити однорідність властивостей по всьому перетину деталі; допустимий бал зерна фериту - 5-7, наявність структурно-вільного цементиту - 0-2 рядів А-В шкали ГОСТ 5640-68. Якщо хоча б один з параметрів не відповідатиме вищезгаданним вимогам, напівфабрикати можуть двічі, тричі піддаватися міжопераційному світлому відпалу.

Після кожної операції деталі повинні мати чисту і світлу поверхню.

Технологія термічної обробки з безокиснювальним відпалом проводиться при температурі 900⁰С в екзогазі з нагрівом протягом 20-30 год. і витримці 15 хв. з подальшим

оохолоджуванням 30°C за годину до температури 350°C . Подальше оохолоджування заготовок проводиться у воді.

Для проведення безокиснювального відпалу створені спеціальні установки.

3.2 Термічна обробка плоских деталей і кілець

3.2.1 Особливості термічної обробки плоских деталей і кілець

Оскільки названі деталі дуже тонкі, товщина їх належать до найбільшого діаметру або розміру 1/50-1/200 (диски посівних і ґрунтообробних машин, диски зчеплення різних фрикційних механізмів і т.д.), термічна обробка їх дуже складна і передбачає останніми операціями після зміцнення правку, очищення від окалини, рихтування, перевірку технічних вимог за мікроструктурою і твердістю.

Вимоги креслень за твердістю і викривленням дисків подані в табл. 3.

Для дисків сівалок із сталі 65Г рекомендується наступна технологія термічної обробки:

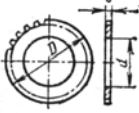


- гартування з нагрівом струмами високої частоти при $900\pm 30^{\circ}\text{C}$ у повітроохолоджувальних штампах;

- відпуск також в штампах при температурі $400-450^{\circ}\text{C}$ з оохолоджуванням на повітрі в стопці.

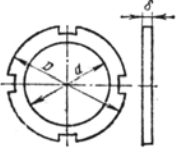
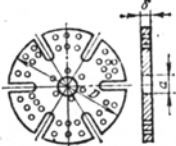
Після такої обробки твердість і викривлення дисків сівалок відповідають технічним умовам (див. табл. 3); структура сталі - троостит або троосто-мартенсит.

Для зміцнюючої термічної обробки дисків широко використовуються установки з нагрівом в **електролітах**. Для зубчастих дисків бортових фрикціонів - диски зовнішнього діаметра >300 , внутрішнього 225 і завтовшки 4 мм. Нагрівання під гартування в електроліті виключає деформації, окалиноутворення і забезпечує стабільну твердість.

Таблиця 3 – Вимоги креслення за твердістю і викривленням дисків із сталі 65Г

Ескіз деталі	Найменування деталі	Основні розміри дисків, мм			Твердість HRC	Жолоблення по площині (менше або дорівнює), мм
		D	D	δ		
	Диск зернових сівалок	350	60	2,5	35-40	3
	Диск ведений муфти повороту трактора ТДТ-55	306	225	4	32-40	0,35
	Диск ведучий муфти повороту трактора ТДТ-55	290	210	4	32-40	0,35
	Диск ведений муфти зчеплення пускового двигуна	134	112	4	40-47	0,2

Продовження табл. 3

Ескіз деталі	Найменування деталі	Основні розміри дисків, мм			Твердість HRC	Жолоблення по площині (менше або дорівнює), мм
		D	d	δ		
	Диск ведучий муфти зчеплення пускового двигуна ПД-10М-2	150	112	4	40-47	0,2
	Диск зчеплення самохідного шасі СК-4	254	55	2	38-48	0,3

Один із процесів зміцнення пружинних сталей 65Г, 60С2, 70С2Г складається з таких операцій:

- нагрівання під гартування в плитах, що обігріваються внутрішніми електроспіралями до температури 860-870⁰С;
- охолодження у **водоохолоджуваних матрицях** – плитах;

- відпуск при 400-410⁰С, в штампах нагріваються внутрішніми спіралями;

- охолодження у водоохолоджуваних матрицях.

При виконанні такого процесу деформація дисків ТДТ не перевищує 0,15 мм, що чудово укладається в допуск.

3.2.2 Технологія і обладнання для світлого гартування кілець

Маслознімні поршневі кільця при експлуатації повторюють геометричні спотворення гільз за допомогою радіальних і тангенціальних розширювачів, від яких потрібні високі пружні властивості.

Безокиснювальне гартування, відпуск і термофіксація сталевих поршневих кілець із сталей У8, 50ХФА, 65Г і ін., а також всіляких пружинних стопорних кілець з плющеного сталевого дроту (сталь 70, 65Г) дають добрі результати у разі нагріву в киплячому шарі.

На рис. 2 подана схема автоматичної установки з киплячим шаром для безокиснювального гартування і відпуску поршневих кілець.

Основні технічні характеристики установок з киплячим шаром такі:

- максимальна температура печі для гартування 900⁰С, для відпуску – 500⁰С;

- теплоносій, електрокорунд;

- зріджений газ при нагріві під гартування – ендогаз, при відпуску – стисле повітря;

- тривалість процесу гартування - 15-20 хв.;

- витрата електрокорунду на 1000 шт. кілець - 0,35 кг.

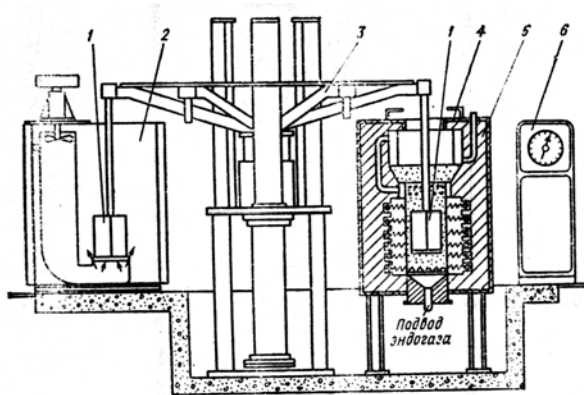


Рисунок 2 – Схема автоматичної установки з киплячим шаром:
 1 – оправка; 2 – гартівний бак; 3 – механізм завантаження і вивантаження; 4 – бортовий відсмоктувач; 5 – піч для безокиснювального нагрівання під гартування; 6 – шафа теплового контролю

Коливання розміру діаметра сталеві спіралі, термофіксованої в киплячому шарі, не перевищує 0,3 при допуску 0,6 мм; просвітність сегментів також не перевищує 0,3 при допуску 0,6 мм. Теплостійкість кілець після термофіксації в киплячому шарі підвищується \sim у 4 рази в порівнянні з шахтним нагрівом.

4 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ ТРАКТОРІВ

Відповідальні деталі ходової системи гусеничних тракторів: опорні катки, провідні і напрямні колеса, ролики, ланки гусениць, пальці і втулки ланок гусениць у процесі експлуатації піддаються інтенсивному абразивному зносу.

Зносостійкість цих деталей значно залежить від вибраного матеріалу. Рекомендуються: для виготовлення деталей ходової частини трактора сталі 35ЛШ, 45Л, леговані бором і ванадієм, 40ГТР, 35ГТРЛ, 110Г13Л, 45ФЛ та ін.

Литі ланки гусениць трактора виготовляють із сталей 110Г13Л або 35ГТРЛ.

Опорні катки і гусениці тракторів із сталей 35ГТРЛ або 35ЛШ, 45ФЛ зміцнюються до твердості HRC>50.

Пальці і втулки ланок гусениць – із сталей 60Г, 65Г.

Усім деталям ходової частини трактора рекомендується виробляти гарт з нагрівом ТВЧ, в т.ч. з самовідпуском.

Режими термічної обробки подані в табл.4.

5 ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Лемеші плугів, лапи культиваторів, ножі подрібнення кормів, сегменти різальних апаратів і косарок, інші різальні деталі в процесі експлуатації безперервно піддаються інтенсивному абразивному зносу.

Практикою встановлено, що для забезпечення високої зносостійкості деталей, що працюють в умовах високоабразивного зносу, більш допустимими методами підвищення довговічності є методи зміцнення, що забезпечують цим деталям самозагострюваність у процесі їх експлуатації.

Сутність явища самозагострювання полягає у виборчому зносі неоднорідного по перетину леза – при взаємодії двошарового леза твердіший шар зношується менш інтенсивно і постійно виступає вперед, утворюючи різальну кромку леза.

У табл. 5 показані приклади зміцнення деяких, різальних деталей сільгоспмашин наплавленням твердими сплавами, що забезпечують різальним кромкам самозагострювання. Борування з нагрівом СВЧ різальних кромок також забезпечує самозагострювання.

Для підвищення зносостійкості деталей ґрунтообробних машин лемеші, лапи культиваторів, ножі і диски виробляють наплавлення твердими сплавами і спеціальними зносостійкими матеріалами типу ситал.

Таблиця 4 – Основні технічні дані верстатів для гартування СВЧ деталей ходової частини

Показник	Верстати для гартування деталей трактора Т-330				Верстат для гартування ведучого колеса тракторів ДТ-75, ДТД-75
	ведучого колеса	катка	ролика	обода	
Тип верстата	Однопозиційний	Однопотоковий 3-позиційний	2-позиційний	Вертикальний 2-позиційний	Горизонтальний 2-позиційний
Діаметр оброблюваних деталей, мм	1185	300	200	900	До 1000
Висота деталі, що нагрівається, мм	120	-	56	68	До 60
Температура нагріву, °С	900	900	900-950	900±40	До 1000
Продуктивність, шт/год.	4	30	40	9	24
Частота обертання гартованої деталі, об/хв.	-	-	50	0,106	-
Спосіб охолодження деталі	Спресрний	Спресрний	Спресрний	Спресрний	Спресрний
Охолоджуюче середовище	Вода технічна	Вода технічна	Вода технічна	Вода технічна	Вода
Температура води, °С	20-25	20-30	15-25	20-30	25
Витрата, м ³ /год.: води	1	13, 8, 4 *	12+8 **	5 (для однієї позиції)	85 (при 3-6 кгс/см ²)
стислого повітря	0,1	1	1	3	15 (при $\eta = 3-6$ кгс/см ²)
Спосіб нагрівання	Безперервно-послідовний одночасно двох западин	Одночасно три позиції окремими індукторами	Одночасний спосіб гартування поверхні ролика	Безперервно-послідовний одночасно двох поверхнь обода	Одночасний
Частота струму нагрівання, Гц	2400	2400	2400	2400	
Споживана потужність генератора високої частоти, кВт	135	180-200 *	140+95	90-100 (на одну позицію)	
Габаритні розміри, мм	3116x2132x2312	5565x1880x2930	3950x1440x2245	3716x2750x3650	3500x2300x1150
Маса, т	8	7,7	2,2	4,9	1,5
* На 1-й, 2-й, 3-й позиціях					
** Для зовнішньої циліндрової і торця поверхнь					

Таблиця 5 – Приклади зміцнення різальних деталей сільгоспмашин

Найменування машини і робочого органа	Допустимий радіус затуплення, мм	Зміцнювальна грань	Товщина шару, мм		Твердість шару	
			зміцненого	основного	зміцненого HRC	основного HV
Деталі, зміцнювані наплавленням твердого сплаву						
Лемеші плугів різного призначення:						
П770-2	1,1	Задня	1,4 - 2,0	1,5 - 2,1	48-54	180-250
П01702	1,2	-«-	1,2 - 2,0	3,0 - 3,5	58-62	180-250
П7702Б	1,1	-«-	1,4 - 2,0	3,0 - 3,5	48-54	180-250
Лемеші:						
передплужника	1,0	Задня	1,2-2,0	2,5 – 3,0	58-62	180-250
глибиннорозпушувача	0,7	-«-	0,8-1,2	-	48-54	190-280
вантажозбиральної машини	0,7	-«-	0,6-1,2	1,2 – 2,0	58-62	190-280
Лапи культиваторів:						
стрілчасті	0,3	-«-	0,3-0,65	1,0-1,4	58-62	190-280
одностороння (брита)	0,3	-«-	0,3-0,65	1,0-1,4	58-62	190-280
Ножі:						
силосозбирального комбайна СК-2,6	0,5		0,3-0,45	0,4-0,8	48-54	190-280
скирторіза СНТ-7	0,25		0,3-0,8	0,6-1,2	58-62	150-220
подрібнення КІР	0,25		0,3-0,5	0,6-1,2	58-62	190-280
навантажувача силосу ПСМ-1М	0,25		0,3-0,5	0,6-1,2	58-62	190-280
бурякозбирального комбайна	1,2		1,4-2,0	2,0-3,5	48-54	150-220
кукурудзозбирального комбайна ККХ	0,3		0,3-0,6	0,6-1,2	58-62	190-280
сегмент фуражира ФН-1,2	0,25		0,3-0,5	-	58-62	190-280
Диски:						
борони БДУ-404	0,7		0,8-1,2	1,2-2,2	58-62	190-280
борони БТ-401	0,7		0,8-1,2	0,8-1,4	58-62	190-280
бурякозбирального комбайна	0,25		0,25-0,6	0,6-1,0	58-62	190-280
розпушувального зуба К553В	1,3		1,5-2,5	4,0-6,0	-	150-220

6 ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

6.1 Вивчити основні теоретичні положення теми.

6.2 Вибрати марку сталі для виготовлення деталі, запропонованої викладачем.

6.3 Скласти маршрутну технологію виготовлення і обробки деталі.

6.4 Підібрати технологічний режим наплавлення і термообробки деталі, представити графік режимів, підготувати мікро шліфи, описати мікроструктуру і властивості.

6.5 Дослідити мікроструктуру і твердість мікрошліфа, заданого для дослідження викладачем. Скласти письмовий звіт.

6.6 Відповісти на питання тестів з теми.

7 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

7.1 Які сталі використовуються при виготовленні дрібних деталей тракторів і сільськогосподарських машин?

7.2 Які способи виготовлення переважно застосовуються для виготовлення дрібних деталей тракторів і сільськогосподарських машин?

7.3 Чи можна рекомендувати при нагріванні деталей завантажувати їх в пристроях «навалом»?

7.4 Як впливає знеуглецювання на міцність деталей?

7.5 Який розкид твердості HRC допустимий на загартованих дрібних деталях тракторів і сільськогосподарських машин?

7.6 Який розкид по глибині цементованого або нітроцементованого шару допустимий на загартованих дрібних деталях тракторів і сільськогосподарських машин?

7.7 Що забезпечує ланцюгам високу втомну міцність?

7.8 Які види ХТО в основному використовуються при зміцненні деталей тракторів і сільськогосподарських машин?

7.9 Для того щоб забезпечити світле гартування, використовуються...

7.10 Для того щоб забезпечити безокиснювальний нагрів використовуються...

7.11 Назвіть оптимальну температуру нітроцементациї.

7.12 Вміст вуглецю в нітроцементованому шарі повинен бути приблизно... %.

7.13 Вміст азоту в нітроцементованому шарі повинен бути приблизно ... %.

7.14 Яка оптимальна товщина нітроцементованого шару рекомендується на деталях роликів ланцюгів?

7.15 Яка твердість рекомендується на самонарізувальному кріпленні?

7.16 Для нагрівання пластин ланцюгів рекомендується при гартуванні нагрівання у ... атмосфері.

7.17 Яка температура безокиснювального відпалу заготовок деталей тракторів і сільськогосподарських машин?

7.18 Нагрівання під гартування фрикційних дисків зчеплення проводиться в ...

7.19 Що таке гартування в електродіті?

7.20 Що таке гартування з нагрівом в киплячому шарі?

7.21 Поясніть спосіб охолодження при гартуванні кілець в штампах.

7.22 При гартуванні в штампах величина деформації деталей по площині кілець відповідає ... мм.

7.23 Поршневі кільця виготовляються із сталей...

7.24 Що є теплоносієм в печі з киплячим шаром?

7.25 Що є зрідженим газом при нагріві під гартування в киплячому шарі?

7.26 Які сталі використовуються при виготовленні литих ланок гусениць трактора?

7.27 Які сталі використовуються при виготовленні опорних катків?

7.28 З яких сталей виготовляють пальці і втулки ланок гусениць тракторів?

7.29 Чи можна застосовувати нагрівання під гартування деталі ходових частин трактора струмами високої частоти?

7.30 Для зміцнення лемешів плугів використовують наплавлення робочої частини ...

7.31 Для зміцнення лап культиваторів використовується хіміко-термічна обробка ...

7.32 Для підвищення абразивної зносостійкості деталей ґрунтообробних машин застосовують ...

7.33 Яка твердість лап культиваторів?

7.34 Яка твердість бурякорізальних ножів - дисків?

7.35 У чому полягає суть самозагострювання при двохшаровому лезі плуга?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. М.Лахтина и А.Г.Рахштадта. –М.: Машиностроение, 1980. -784 с.

2.Иванов В.В., Бобиков Н.Ф., Дубов Н.Ф. Повышение долговечности ходовой системы тракторов /Сб. «Тракторы и сельхозмашины». –М.: Машиностроение, 1984.

3. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. –М.: Машиностроение, 1981. -264 с.

Лабораторна робота 5
«Технологія термічної обробки в хімічному
машинобудуванні, структура і властивості»
(тривалість роботи - 6 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

1.1 Вивчити теоретичні матеріали за темою роботи.

1.2 Навчитися вибирати матеріал для конкретних деталей хімічної апаратури і розробляти технологічну карту термічної обробки.

1.3 Навчитися проводити термічну обробку деталей (зразків) згідно з технологічною картою і досліджувати результати експерименту.

2 ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ ТА ДОПОМІЖНІ МАТЕРІАЛИ

2.1 Лабораторні електропечі на температуру 1200, 600 і 200⁰С.

2.2 Пристрої, контейнери, кліщі, піддони, індуктори.

2.3 Порошкові матеріали для проведення різних видів ХТО.

2.4 Конкретні деталі і зразки марок сталей для термічної або хіміко-термічної обробки і досліджень мікроструктури і механічних властивостей.

2.5 Твердоміри ТК-2, ТШ-2 і ПМТ-3.

2.6 Хімічні протравлювачі, спирт, вата, абразивні матеріали.

3 КОРОТКІ ЗАГАЛЬНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

Незважаючи на специфічність умов, в яких працює хімічне обладнання, основну частку споживаного металу складають вуглецеві сталі $\sim > 50\%$, для низьколегованих 09Г2С, 16ГС, 12ХМ та ін. становить $> 20\%$, а корозійностійких - $> 26-28\%$.

Значну частку продукції, що випускається заводами хімічного машинобудування, становить великогабаритні зварювальні апарати, ректифікаційні колони, посудини високого тиску, труби, коксівні камери, сферичні резервуари, циліндрові вежі установок тяжкої води, резервуари – сховища газів і т.д. Розміри хімічних апаратів, обичайки, днища, фланці діаметром від 2,0-16,0 м, висотою від 12,0 до 100 м, з товщиною стінки від 6,0 до 85 мм, масою від 8,0 до 1700 т. Робочі температури хімічних апаратів - до $700-800^{\circ}\text{C}$. Для виготовлення апаратів широко використовуються такі марки легованих сталей **12ХМ, 15ХМ, 09ГС, 08Х13, 16ГС, 09Г2С, 12Х18Н10Т, 12Х1МФ, 15Х5**. Перелік високолегованих корозійностійких сталей поданий в табл. 1.

Всі сталі, використовувані для виготовлення апаратів хімічного машинобудування, повинні мати доброю зварюваність.

З вуглецевих сталей використовують **ВСт3, ВСт3Гпс, 15К**; з конструкційних сталей часто використовуються **30ХГСА, 40Х, 40ХМА** і ін.

Найчастіше хімічні апарати виготовляються з частин пластичною деформацією з подальшим зварюванням.

Термічна обробка виробів і апаратів хімічної апаратури проводиться з метою:

Таблиця 1 - Структура використання в хімічному машинобудуванні корозійностійких сталей

Клас сталі	Марка сталі	Частка використання, %	Примітка
1	2	3	4
Аустенітний	Типу X18H10T (12X18H10T, 08X18H10T, 08X18H12Б, 12X18H9 та ін.)	53	-
	Типу X17H13M3T (10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H13M2T, 08X17H14M3 та ін.)	16	-
	Низьковуглецеві (03X18H11, 03X17H14M3, 03X19AG3H10)	0,5	Обладнання виробництва слабої азотної кислоти, карбаміду, капролактаму
	Складнолеговані (06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ, 03Х21Н21М4ГБ, 10Х23Н18 та ін.)	3,0	Обладнання виробництва сірчаної і фосфорної кислот, мінеральних добрив
Аустенітно-феритний	08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18Г8H2T	6,0	Замість сталі 08X18H10T і 08X17H13M3T

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Феритний і мартенситний	08X13, 14X17H2, 20X17H2, 30X13, 40X13	1,5	Деталі машин, що працюють в слабо агресивних середовищах
Аустенітно-мартенситний	09X15H8Ю, 07X16H6	0,1	Робочі колеса відцентрових компресорів
Двошарові сталі	ВСт3+12X18H10Т, 20К+12X18H10Т, 16ГС+12X18H10Т, 09Г2С+12X18H10Т, ВСт3+10X17H13М2Т, 20К+10X17H13М2Т, 16ГС+10X17H13М2Т, 09Г2С+10X17H13М2Т, 20К+08X13, 20К+06X28МДТ та ін.	15,0	Починають застосовуватися двошарові сталі з плакувальним шаром із сталі 03X18H11, 15X25Т, 03X21H21М4ГБ та ін.
Нікелеві сплави	ХН65МВ, Н70МФ, ХН78Т	0,1	Для особливо агресивних середовищ, що містять соляну, сірчану кислоти та ін.
Титан і його сплави	ВТ1-0, ОТ4-0, ВТ6 та ін.	4	-
Інші сплави	-	0,8	-

- 1) отримання заданих механічних властивостей;
- 2) зняття залишкових напружень, спричинених пластичною деформацією, зварюванням та іншими технологічними операціями, для підвищення працездатності;
- 3) зменшення небезпеки корозійного розтріскування при подальшій експлуатації; підвищення загальної корозійної стійкості;
- 4) усунення крихких складових фаз у мікроструктурі, що утворюються при зварюванні;
- 5) ліквідації схильності до міжкристалітної корозії;
- 6) отримання заданої технічними умовами мікроструктури (усунення дельта-фериту, сигма-фази, отримання однорідного твердого розчину).

Для досягнення названих властивостей застосовуються такі операції термічної обробки:

- гартування на твердий розчин (аустенізація);
- відпал повний, що стабілізує відпал;
- високий відпуск;
- гартування з відпуском;
- нормалізація, нормалізація з відпуском;
- обробка холодом;
- циклічна і ступінчаста обробки.

Згідно з основним нормативним документом хімічного машинобудування (ОСТу 26-291-71) посудини, апарати і їх елементи з вуглецевих і низьковуглецевих сталей піддаються обов'язковій термічній обробці при виготовленні їх вальцюванням, штампуванням і зварюванням.

Названі сталі при гарячій пластичній деформації не підгартують на повітрі.

З таких же сталей виготовляються апарати, що експлуатуються в агресивних середовищах, що викликають корозійне розтріскування (розчини їдкого натру і калію, азотно-кислих солей натрію, калію, амонію, кальцію та ін.). Для всіх цих сталей товщина зварювального шва повинна бути більше 36 мм.

Хімічні апарати, виготовлені з **перлітових сталей типу 12МХ, 15ХМ, 12Х1МФ, 15Х5** та ін., що підгартують

на повітрі незалежно від товщини зварювального шва, піддають також термічній обробці після зварювання.

У збірних конструкціях допускається термічна обробка зварних вузлів до складання. За необхідності можлива місцева термічна обробка (з місцевим нагрівом) після складання всієї конструкції.

3.1 Термічна обробка апаратів і їх елементів з вуглецевих і низьколегованих сталей

Апарати і їх елементи з вуглецевих сталей ВСт3, ВСт3Гпс, 15, 20, 15К, 20К та ін. і низьколегованих 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С, 10Г2С1 піддають термічній обробці з метою зняття залишкових напружень, спричинених холодною пластичною деформацією або зварюванням для запобігання викривленню або корозійному розтріскуванню, а також для отримання відповідних механічних властивостей зварного шва.

Обичайки, зварені автоматичною або ручним зварюванням, піддають відпуску при температурі 600-650⁰С з витягом з розрахунку 2 хв. на 1 мм товщини стінки з охолодженням на повітрі, а елементи, зварені **електрошлаковою** зварюванням, – нормалізації при 900-920⁰С з витримкою 1,0-1,5 хв. на 1 мм перетину з охолодженням на повітрі.

Днища і обичайки, виготовлені **холодним штампуванням** агрегатів, що працюють при температурах від -40 до -70⁰С, піддають нормалізації з подальшим відпуском.

Апарати, виготовлені холодним штампуванням із сталей 12ХМ, 15ХМ, 20Х2МА, **після ручного зварювання** також піддають відпуску при 620-680⁰С, а після **електрошлакової** - нормалізації при 950-980⁰С з витримкою відповідно 2 хв. і 1,5 хв. на 1 мм товщини.

Апарати, виготовлені **гарячим штампуванням** з цих сталей, піддають нормалізації з високим відпуском при температурах 950-980⁰С і 620-680⁰С відповідно.

3.2 Термічна обробка апаратів і їх елементів з корозійностійких сталей

Найбільше застосування в хімічному машинобудуванні знайшли сталі 18-10 з титаном і типу 18-12 з молібденом і титаном (табл. 1).

З табл. 1 видно, що для виготовлення апаратів, експлуатованих в корозійних середовищах, використовують складнолеговані сталі аустенітного класу або сталі з низьким вмістом вуглецю - 0,03; з'явилися корозійностійкі сталі, що містять азот.

Основи вибору режиму термічної обробки корозійностійких сталей. Різноманітність марок сталей викликає додаткові труднощі при виборі термічної обробки, оскільки досягнення заданих властивостей визначається мікроструктурою сталей, а отже, режимами і технологією термічної обробки.

У табл. 1 поданий перелік корозійностійких сталей, їх мікроструктура і позначений відсоток використання сталей у виготовленні хімічної апаратури і їх призначення залежно від умов експлуатації.

3.2.1 Термічна обробка стабілізованих хромонікелевих аустенітних сталей проводиться залежно від призначення, умов роботи і агресивності середовища (це сталі, стабілізовані титаном або ніобієм).

Вироби із сталей 08X18H10T, 12X18H10T, 12X18H9T, 12X18H10B, 08X18H12B можуть піддаватися таким видам термічної обробки:

- 1) гартуванню (аустенізації);
- 2) відпалу, що стабілізується;
- 3) відпалу для зняття залишкових напружень;
- 4) ступінчастій обробці.

3.2.1.1 Гартування проводиться для усунення схильності міжкристалітної (МКК) корозії, що працюють при температурі до 350⁰С, і до ножевої корозії виробів, що експлуатуються в азотній кислоті та інших агресивних середовищах, для підвищення загальної корозійної стійкості і пластичності сталі.

Режим гартування 1050-1100⁰С і охолодження деталей з товщиною стінки до 10 мм на повітрі; а вище 10 мм – у воді. Зварні з'єднання складної конфігурації, щоб уникнути викривлення, охолоджуються на повітрі.

Час витримки виробів з товщиною стінки 10 мм - 30 хв., понад 10 мм – 2 мм + 1 хв. на 1 мм максимального перетину.

3.2.1.2 Стабілізуючий відпал проводиться для запобігання схильності до міжкристалітної корозії виробів, що працюють при температурах більше 350⁰С, з якими неможливо з тих або інших причин провести гартування, але потрібно зняти залишкові напруження і запобігти МКК і корозійному розтріскуванню.

Режим стабілізуючого відпалу: нагріваючи 870-900⁰С з витримкою 2-3 год., охолодження на повітрі.

У процесі нагріву при достатньому вмісті титану в сталі відбувається зв'язування вуглецю в карбіди титану і при подальшому охолодженні карбідів хрому не утворюється.

Для виробів, підданих пластичній деформації не менше 25%, можна виріб піддавати відпалу при 650⁰С протягом 5-20 год. для виділення карбідів хрому по площинах ковзання і остаточного (другого) відпалу при 900⁰ протягом 5-10 год. для утворення карбідів титану, забираючи вуглець з карбідів хрому.

3.2.1.3 Відпал для зняття залишкових напружень. Не тільки знімаються залишкові напруження, але і запобігають корозійному розтріскуванню. Відпал проводять при температурі 900⁰С протягом 2-3 год. з охолодженням в печі до 300⁰С, а далі - на повітрі.

Ступінчаста обробка застосовується для аустенітних сталей як **прогресивний** процес термічної обробки, і застосовується вона разом із стабілізуючим відпалом. Суть процесу полягає у тому, що виріб нагрівається до температури 1050-1100⁰С з метою отримання однорідного твердого розчину, а потім виріб охолоджується до 870-900⁰С з можливо більшою швидкістю і витримується при цій температурі 2-3 год., як і при звичайному стабілізуючому

відпалі, а потім охолоджується залежно від призначення, на повітрі, якщо не потрібно можливо більше зняття залишкових напружень або разом з піччю до 300°C , якщо це умова обов'язкова. Графік ступінчастої обробки представлений на рис.1.

У процесі ступінчастої обробки нагрівання до $1050-1100^{\circ}\text{C}$ усуває всі зміни у структурі сталі, викликані попередньою обробкою, деформацією, зварюванням, а витримка при $870-900^{\circ}\text{C}$ приводить до достатньо повного зв'язування вуглецю в карбіді титану, що перешкоджає утворенню карбідів хрому і появи схильності до міжкристалітної корозії.

Ступінчаста обробка з повільним охолодженням дає якнайповніше зняття залишкових напружень.

Ступінчастій обробці і стабілізуючому відпалу можна піддавати сталі, в яких відношення вмісту титану в сталі до вуглецю буде більше 5, а відношення ніобію до вуглецю більше 8, оскільки при меншому відношенні в структурі

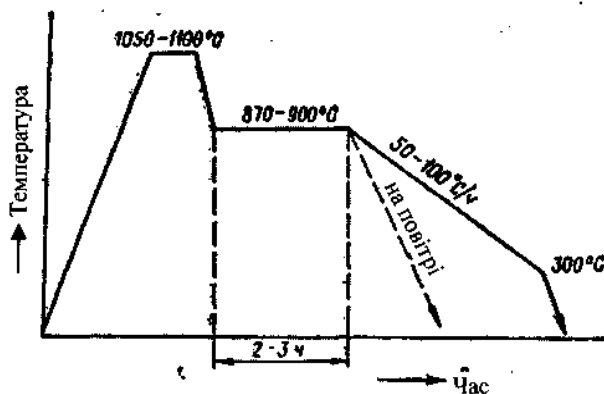


Рисунок 1 - Графік ступінчастої обробки аустенітної сталі

сталі можуть з'явитися карбіді хрому, що викликає зниження стійкості сталі до міжкристалітної корозії.

3.2.1.4 Термічна обробка нестабілізованих аустенітних сталей. Сталі 08X18N10, 12X18N9, 04X18N10, 03X18N11 (нестабілізовані титаном) знаходять обмежене



застосування в хімічному машинобудуванні тільки для виробів, що не піддаються зварюванню, або для роботи в середовищах, що не викликають міжкристалітну корозію.

Якщо необхідно, сталі піддають гартуванню у воді від 1050-1100⁰С для підвищення загальної корозійної стійкості. Ці сталі не можна піддавати стабілізуючому відпалу для зняття напружень.

Особливе місце серед нестабілізованих хромонікелевих аустенітних сталей займає сталь 03X18H11, яка використовується для виготовлення апаратів для слабої азотної кислоти і азотно-тукових добрив. Сталь можна піддавати гартуванню 1050-1100⁰С з охолодженням у воді або на повітрі, можна піддавати цю сталь стабілізуючому відпалу при 870-900⁰С з витримкою 2-3 год. і охолодженням до 300⁰С разом з піччю.

3.3 Термічна обробка хромонікелемолібденових аустенітних стабілізованих сталей

Ці сталі 08X17H13M2T, 10X17H13M2T, 10X17H13M3T, 08X17H15M3T, 03X21HM4ГБ, які можна піддавати таким видам термічної обробки:

- 1) гартуванню (аустенізації);
- 2) відпалу, що стабілізується;
- 3) відпалу для зняття залишкових напружень.

У вказаних хромонікелемолібденових сталях, особливо зварних з'єднаннях, при повільному охолодженні утворюється σ -фаза, яка викликає окрихчування.

Для підвищення загальної корозійної стійкості і для усунення міжкристалітної корозії (МКК) проводять сталям гартування від 1050-1100⁰С з охолодженням у воді або на повітрі. Для усунення σ -фази гартування треба проводити від 1100⁰С.

Для зняття залишкових напружень і попередження розтріскування в **незварних** з'єднаннях можна проводити стабілізуючий відпал при 900⁰С з витримкою 2-3 год. і охолодженням на повітрі.

Апарати із зазначених сталей можуть бути зварені як не стабілізованими, так і стабілізованими електродами.

У першому випадку сталі піддають відпалу для зняття напружень при 1020-1060⁰С з охолодженням на повітрі або до 300⁰С в печі.

У разі стабілізованих електродів ніобієм відпал проводиться при 1100-1140⁰С.

Для виробництва фосфорної кислоти використовують апарати із сталі 03Х21Н21М4ГБ.

3.4 Термічна обробка сталей феритного класу

У хімічному машинобудуванні застосовують феритні сталі 08Х13, 12Х17, 08Х17Г, 15ХГТ.

На відміну від аустенітних сталей сталі феритного класу мають максимальну стійкість до міжкристалітної корозії і пластичність після відпалу, мають високу стійкість проти корозійного розтріскування, не містять у своєму складі дефіцитного нікелю. Відпал цих сталей проводять при температурі 760-780⁰С з витримкою 30 хв. + 1 хв. на 1 мм найбільшої товщини з охолодженням на повітрі або у воді.

Стали феритного класу не рекомендується нагрівати до температури 450-550⁰С. Сталі при цій температурі знаходять 475-градусну крихкість.

За останній час в сталях феритного класу зменшено кількість вуглецю, і містять вони ≤ 0,01% азоту, що підвищує в'язкість цих сталей, у т.ч. в'язкість зварних з'єднань.

3.5 Термічна обробка сталей мартенситного класу

У хімічному машинобудуванні використовують хромові сталі мартенситного класу 20Х13, 30Х13, 40Х13, 95Х18, які піддаються зміцнювальній термічній обробці, гартуванню з відпуском або відпалу.

Гартування і відпуск проводять для досягнення максимальної корозійної стійкості або для отримання заданого рівня механічних властивостей.

Температура гартування 1000-1050⁰С, час витримки при нагріві під гартування з товщиною стінки 10 мм становить 20 хв., при більшій товщині - 10 хв. + 1 хв. на 1 мм найбільшої товщини.

Зварні вироби із сталі 20Х13 перед гартуванням піддають відпалу при 700⁰С з витримкою 1-2 год.

Сталі 30Х13, 40Х13, щоб уникнути появи тріщин при нагріві, рекомендується завантажувати в піч під гартування при температурі 500-550⁰С і поволі нагрівати до 800⁰С, а потім швидкість нагріву можна збільшити.

Максимальні механічні властивості досягаються при температурі відпуску 180-300⁰С; максимальна корозійна стійкість і пластичність після відпуску – 700-750⁰С.

Вироби після гартування піддають обробці холодом для усунення залишкового аустеніту. Щоб уникнути надбаня необоротної відпускнуої **крихкості** виробу з названих сталей не рекомендується відпускати при 450-550⁰С, в т.ч. знижується ударна в'язкість.

Для поліпшення оброблюваної різанням сталі піддають проміжному відпалу при 760⁰С.

3.6 Термічна обробка сталей аустеніто-мартенситного класу

У хімічному машинобудуванні застосовують такі сталі аустеніто-мартенситного (перехідного) класу: 09Х15Н8Ю, 07Х16Н6, 09Х17Н7Ю, 08Х17Н5М3, які в основному використовують для виготовлення високопродуктивних відцентрових машин, міцність і надійність яких не може бути підвищена за рахунок збільшення товщини стінки виробу. Це стосується і вузлів тертя, і різьбових з'єднань, для яких потрібна підвищена твердість. Підвищення твердості виробів за рахунок хіміко-термічної обробки: цементації, нітроцементації, азотизації - знижує їх корозійну стійкість, але деякі сталі після термічної обробки мають твердість НRC 40-45.

При проведенні термічної обробки слід мати на увазі, що після гартування (аустенізації) структура сталей аусте-

ніто-мартенситного класу – **аустеніт**; після обробки холодом $\sim 70\%$ мартенситу, що супроводжується збільшенням розмірів деталей на 0,3-0,5%.

Сталі 07X16H6, 09X17H7Ю піддають гартуванню з температури 1000°C з охолодженням на повітрі або воді, обробці холодом при -70°C і старінню при $350-380^{\circ}\text{C}$.

Сталі 09X15H8Ю, 08X17H5M3 для отримання максимальних антикорозійних властивостей піддають гартуванню (аустенізації) з температури $975-1000^{\circ}\text{C}$ з охолодженням на повітрі або у воді, обробці холодом при -70°C і старінню при $350-380^{\circ}\text{C}$.

Для отримання максимальної міцності всі названі сталі піддають відпуску при $430-500^{\circ}\text{C}$, але при цьому виникає схильність в сталях до міжкристалітної корозії.

Важливою умовою у вищезгаданих сталях є своєчасне проведення обробки холодом; розрив між гартуванням і обробкою холодом не повинен перевищувати 12 год., оскільки тривале вилежування аустеніту приводить до стабілізації аустеніту.

Сталі аустеніто-мартенситного класу **для поліпшення оброблюваної різанням** піддають подвійній термічній обробці за таким режимом: відпал при $760-780^{\circ}\text{C}$ 1,5-2,0 год., охолодження на повітрі і відпуск при $650-680^{\circ}\text{C}$ з витримкою 1,5-2,0 год., охолодження на повітрі. Іноді причиною пониження пластичних властивостей є **наводорожування**. Процес обезводорожування проводять при температурі $500-550^{\circ}\text{C}$ протягом 25-30 год.

3.7 Термічна обробка сталей аустеніто-феритного класу

У хімічному машинобудуванні знаходять застосування такі сталі аустеніто-феритного класу: 08X22H6T, 08X21H6M2T, 08X18Г8H2T і 04X25H5M2. **Ці сталі не піддаються зміцнювальній термічній обробці.**

Для виключення утворення міжкристалітної корозії в цих сталях виробу можуть піддаватися гартуванню з температури $1000-1050^{\circ}\text{C}$ в повітрі або воді.

Для підвищення межі текучості сталь 08Х22Н6Т обробляють за режимом нагрівання до 760°C з витримкою 1-2 год., обробка холодом -70°C - 2 год., відпуск при 350°C - 1 год.

3.8 Термічна обробка сталей мартенсито-феритного класу

У хімічному машинобудуванні використовуються сталі мартенсито-феритного класу типу 12Х13, 14Х17Н2. Сталі не можуть використовуватися для зварних з'єднань.

Сталь 12Х13 найбільшу корозійну стійкість має після гартування від температури $1000-1050^{\circ}\text{C}$ в маслі, витримка при нагріві - 1 хв. на 1 мм перетину, але не менше 30 хв. з подальшим відпуском при $770-780^{\circ}\text{C}$.

Для отримання високої міцності рекомендується відпуск сталей проводити при температурах $275-350^{\circ}\text{C}$ з витримкою більше 2 год.

Низький відпуск не проводиться, оскільки тоді в структурі залишається залишковий аустеніт, який надалі, перетворюючись на мартенсит, веде до зміни розмірів деталей.

Відпуск при $400-500^{\circ}\text{C}$ веде до набуття сталлю необоротної відпускнуї крихкості.

3.9 Термічна обробка сплавів на нікелевій основі

У хімічному машинобудуванні застосовуються сплави на нікелевій основі ХН78Т, ХН65МВ, Н70МФ, що поставляються в загартованому стані, мають аустенітну структуру і застосовуються для виробів, що працюють в особливо агресивних середовищах.

Для підвищення корозійної стійкості зварних швів виробу з цих сплавів піддають гартуванню з температури $1070\pm 20^{\circ}\text{C}$ з витримкою 3-5 хв. на 1 мм товщини виробу, охолодженням у воді або на повітрі. Для сталі ХН65МВ застосовують двократний відпал при температурі 1225°C . Сплав може оплавитися, якщо перевищити температуру на $15-20^{\circ}\text{C}$.

3.10 Термічна обробка посудин і апаратів з двошарових сталей

У хімічному машинобудуванні застосовують двошарові сталі з основним металом із сталей ВСт3, 20К, 09Г2С, 12ХМ і плакуючим шаром із сталей 08Х13, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 03Х21Н21М4ГБ, залізонікелевого сплаву 06ХН28МДТ і нікелевих сплавів ХН78Т, ХН65МВ, Н70МФ.

При виборі режиму термічної обробки посудин і апаратів з двошарової сталі слід керуватися такими основними положеннями:

1 Режим термічної обробки повинен встановлюватися для основного металу (шару) відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

2 Вибраний режим термічної обробки основного шару не повинен впливати негативно на корозійну стійкість плакуючого шару.

3 У деяких випадках плакуючий шар можна наносити на основний шар після його термічної обробки. У інших поєднаннях двошарових сталей дозволяється проводити термічну обробку вже готового виробу.

Листи з плакуючим шаром з аустенітної сталі піддають нормалізації при $900-940^{\circ}\text{C}$ або гартуванню від $1025-1050^{\circ}\text{C}$.

Двошарові листи з плакуючим шаром з феритної сталі піддають нормалізації при $900-925^{\circ}\text{C}$ з подальшим відпуском при $650-700^{\circ}\text{C}$.

Найдоцільнішою слід вважати ступінчасту термічну обробку при температурі $830-850^{\circ}\text{C}$.

Для кожного поєднання основного і плакуючого шару і залежно від його призначення режим термічної обробки підбирається експериментально.

4 ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

4.1 Вивчити основні теоретичні положення.

4.2 Навчитися вибирати матеріал для виготовлення деталі, виданої студенту викладачем для індивідуальної термічної обробки, і дослідження результатів.

4.3 Дослідити зразки сталей, вибраного матеріалу у вихідному стані: мікроструктуру і властивості.

4.4 Розробити режим термічної обробки вибраної марки сталі в додатку до деталі.

4.5 Виробити відповідну термічну обробку за розробленим режимом.

4.6 Дослідити і описати мікроструктуру і властивості вибраної сталі на зразках.

5 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

5.1 Який вид формоутворення використовується для виготовлення деталей хімічного машинобудування?

5.2 Який вид нерознімного з'єднання застосовується при виготовленні хімічних апаратів?

5.3 Для чого застосовується термічна обробка при виготовленні хімічної апаратури?

5.4 Які види термічної обробки застосовуються в хімічному машинобудуванні для досягнення експлуатаційних властивостей хімапаратури?

5.5 Посудини, апарати хімічного машинобудування з вуглецевих і низьколегованих сталей виготовляються...

5.6 Якому виду термічної обробки піддаються хімічні апарати, виготовлені із сталей ВСт3, ВСт3ПС?

5.7 Якій термічній обробці піддається хімічна апаратура, виготовлена холодною пластичною деформацією із сталей 12ХМ, 15ХМ?

5.8 Яким видам термічної обробки піддаються стабілізовані хромонікелеві аустенітні сталі?

5.9 Навіщо проводиться гартування сталей 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б?

- 5.10 Яка температура гартування сталі 12Х18Н10Т?
- 5.11 Назвіть температуру стабілізуючого відпалу сталі 08Х18Н10Б.
- 5.12 При яких температурах проводиться відпал для зняття залишкових напружень і запобігання корозійному розтріскуванню сталі 12Х18Н9Т?
- 5.13 За яким режимом проводиться ступінчаста обробка стабілізованих аустенітних сталей в хімічному машинобудуванні?
- 5.14 Ступінчастій обробці і стабілізуючому відпалу можна піддавати аустенітні сталі, в яких відношення вмісту титану в сталі до вуглецю буде...
- 5.15 Ступінчастій обробці і стабілізуючому відпалу можна піддавати аустенітні сталі, в яких відношення вмісту ніобію до вуглецю...
- 5.16 Що таке нестабілізована аустенітна сталь?
- 5.17 Яка сталь аустенітного класу називається стабілізованою?
- 5.18 Чим відрізняється стабілізована аустенітна сталь від нестабілізованої?
- 5.19 Сталь 03Х21Н21М4ГБ в основному використовується для виготовлення хімічних апаратів для виробництва...
- 5.20 До якого класу за мікроструктурою належать сталі 08Х13, 12Х17?
- 5.21 Чому не рекомендується нагрівати сталь феритного класу до температури 450-550⁰С?
- 5.22 Назвіть сталі мартенситного класу, використовувані для виготовлення апаратів хімічного машинобудування.
- 5.23 Яка температура гартування сталі 40Х13?
- 5.24 Чому піддають зварні вироби з мартенситних сталей перед гартуванням?
- 5.25 При яких температурах не рекомендується піддавати відпуску сталі мартенситного класу після гартування хімічної апаратури?
- 5.26 До якого класу за структурою належать сталі 09Х17Н7Ю, 09Х15Н8Ю?

5.27 Яка твердість мартенситу після гартування на сталі 40X13?

5.28 За рахунок чого на сталях аустеніто-мартенситного класу на апаратах хімічного машинобудування можна одержати зміцнення?

5.29 На скільки відсотків збільшуються розміри виробів, виготовлених із сталей аустеніто-мартенситних сталей після зміцнюючої термічної обробки.

5.30 За яким режимом термообробляють сталі для отримання максимальних антикорозійних властивостей на сталі аустеніто-мартенситного класу 09X15H8Ю і 08X17H5M3?

5.31 Через який проміжок часу після гартування з охолодженням на повітрі аустеніт в сталях аустеніто-мартенситного класу стабілізується?

5.32 Якій термічній обробці піддають сталі аустеніто-мартенситного класу для поліпшення оброблюваності різнанням?

5.33 При якій температурі проводять процес обезводороживання сталей аустеніто-мартенситного класу?

5.34 Якому виду зміцнюючої термічної обробки піддають сталі аустеніто-феритного класу 08X22H6T, 08X18, Г8, H2T?

5.35 Для виключення утворення міжкристалітної корозії сталі аустеніто-феритного класу і піддають...

5.36 Чому не рекомендується сталі мартенсито-феритного класу піддавати низькому відпуску?

5.37 Які сплави використовують для виготовлення апаратів, що працюють в особливо агресивних середовищах?

5.38 Для підвищення корозійної стійкості зварних швів сплавів на нікелевій основі піддають...

5.39 Який сплав може служити плакуючим шаром при виготовленні хімічних посудин з двошарових сталей?

5.40 В двошарових сталях хімічних апаратів основними сталями можуть бути...

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта. –М.: Машиностроение, 1980. -783 с.

2. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Сакей А.Г. Технология термической обработки. –М.: Металлургия, 1986. -423 с.

Лабораторна робота 6
«Термічна обробка і мікроструктура зварного
шва вуглецевих і легованих сталей»
(тривалість роботи 6 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

1 Вивчити мікроструктуру і мікротвердість зварного шва вуглецевої і легованої сталей.

2 Провести термічну обробку зварних зразків для виправлення мікроструктури.

3 Дослідити і описати мікроструктуру і мікротвердість зварного шва після термічної обробки.

4 За пп. 1 і 3 побудувати графіки значень мікротвердості.

2 ОБЛАДНАННЯ І ІНСТРУМЕНТ

2.1 Термічна електропіч з автоматичним регулюванням температури.

2.2 Металографічний мікроскоп.

2.3 Набір шліфів, вирізаних із зварних швів вуглецевої і легованої сталей.

2.4 Набір зразків зварного шва для термічної обробки.

2.5 Набір шліфів, вирізаних із зварних з'єднань, з подальшою термічною обробкою.

2.6 Мікротвердомір ПМТ-3.

3 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРО КРИСТАЛІЗАЦІЮ МЕТАЛУ У ЗВАРЮВАЛЬНІЙ ДУЗІ

3.1 Кристалізація металу в зварювальній дузі

Кристалізація самої зварювальної ванни за своїм механізмом подібна до первинної кристалізації сталевого зливка. Різниця тільки у тому, що замість стінок виливниці основний метал зварюваного виробу, що тут не розплавився, і час кристалізації обчислюється не годинами, а хвилинами.

Кристалізація металу зварювальної ванни відбувається протягом часу, обумовленого нерівномірністю відведення тепла із зони розплаву і виділення прихованої теплоти кристалізації.

Наплавлений метал утворюється у результаті розплавлення присадного і частково основного металів. **Властивості металу в зоні шва** визначаються умовами плавлення, металургійної обробки основного і присадного металів і кристалізацією металу шва при охолодженні.

Властивості зварного з'єднання в цілому визначаються характером теплової дії на метал в пришовних зонах.

Кристалізація зварювальної ванни приводить до шаруватої будови металу шва, до появи **ліквації, як зональної, так і дендритної**. За літературними даними середній рівень ліквації на першому етапі досягає: Si 120-150%, Mo 110%, Cr 125-130% і C 150%. Товщина шарів, що закристалізувалися, залежить від об'єму зварювальної ванни і відповідно від швидкості охолодження металу і може коливатися в межах від десятих часток міліметра до декількох міліметрів.

Зональна ліквація обумовлена неоднорідністю хімічного складу металу шва в периферійній і центральній зо-

нах. Це є наслідком того, що метал периферійних зон твердішає швидко, і тому всі складові елементи сплаву, розподілені в розплаві рівномірно, не встигають розширюватися. Метал центральної зони шва виявляється таким, що збагатить домішками, розташованими по зонах згідно з густиною (питомою вагою).

При декілька сповільненій кристалізації з'являється **дендритна ліквіація**, що характеризується хімічною неоднорідністю міждендритного простору і осей дендритів.

Слід зазначити, що спосіб зварювання, температура розплаву і хімічний склад матеріалу зварюваних виробів і електрода суттєво впливають на процес ліквіації.

Регулюючи умови охолодження розплаву зварювальної ванни, а тим самим керуючи процесами дифузії як в рідкому металі, так і в металі, що вже закристалізовувався, можна значно понизити і зональну, і дендритну ліквіацію. Наприклад, збільшення швидкості охолодження металу веде до скорочення тривалості існування двофазного стану металу зварювальної ванни, збільшує число центрів кристалізації, чим зменшує ступінь хімічної неоднорідності зварного шва.

Але треба завжди пам'ятати, що збільшення швидкості кристалізації спричиняє до виникнення структурних напружень, і відповідно з'являється можливість виникнення тріщин в зварному шві.

Велике значення має температурний інтервал початку і кінця кристалізації сплаву, який залежить від хімічного складу зварюваних виробів і електрода. **Чим менше температурний інтервал кристалізації, тим нижчий рівень ліквіації.** Наприклад, у низьковуглецевих сталях, що мають температурний інтервал кристалізації 25-35°C, ліквіація незначна. Із збільшенням вмісту вуглецю в сталі **температурний інтервал кристалізації збільшується** (що добре видно на діаграмі Fe-Fe₃C), і тому **ступінь ліквіації підвищується.**

Розглядаючи будову зварного шва на рис. 1, бачимо, що теплота, що виділяється дугою при зварюванні, поширюється і на основний метал. При цьому у міру видалення від межі сплаву швидкість і максимальна температура нагріву металу знижуються, внаслідок чого в зоні основного металу залежно від температури нагріву відбуваються фазові перетворення і відповідно структурні зміни, які впливають на міцність зварного з'єднання.

Зону основного металу, прилеглу до зварювальної ванни, називають **зоною термічного впливу**.

На рисунку схемно показані будова цієї зони і температурні ділянки з різними структурними перетвореннями низьковуглецевої сталі.

Ділянка а відповідає температурі і ділянці повного розплавлення металу (вищий за лінію ліквідус). Після кристалізації наплавлений метал має стовпчасту (дендритну) крупнозернисту будову, характерну для литої сталі.

Ділянка б - ділянка неповного розплавлення основного металу - є важливою ділянкою зони, оскільки саме тут відбуваються зрощення основного і наплавленого металів і утворення загальних кристалів. Ділянка є вузькою смугою, вимірюваною десятими, а іноді і сотими частками міліметра залежно від способу зварювання.

Ділянка в - зона перегріву. Включає метал, що нагрівається до температури, близької до температури плавлення. Ця ділянка характеризується крупнозернистою структурою перегрітої сталі. Перегрів, як правило, знижує механічні якості металу (пластичність, в'язкість); може викликати утворення крупнозернистої голчастої структури фериту, так званої **відманштетгової структури** (рис. 2) з низькими механічними показниками. Це явище характерне для сталей з великим вмістом вуглецю. Ділянка перегріву особливо небезпечна для сталей, схильних до утворення гартівних структур.

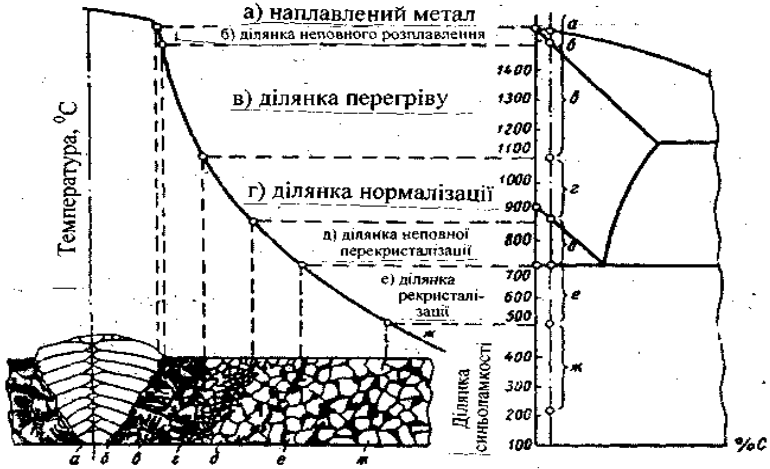


Рисунок 1 - Схема будови зварного шва

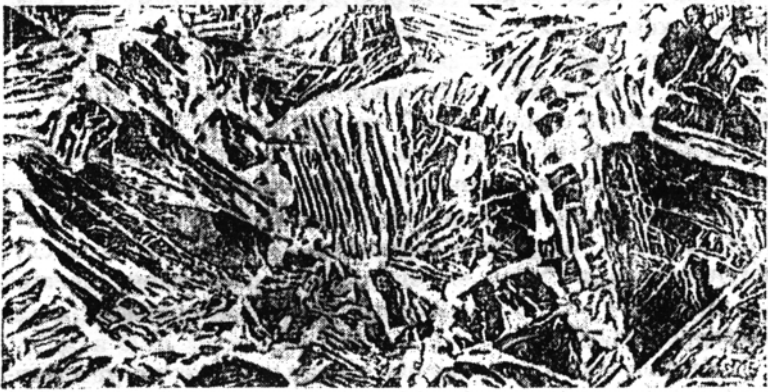


Рисунок 2 - Мікроструктура перегрітої доєвтектоїдної сталі (відманштеттова структура) X250

Ділянка z - зона нормалізації. Включає метал, що нагрівається до температур більше 900°C. При нагріванні і охолодженні металу цього складу відбуваються повна фазова перекристалізація перліту і фериту і значне подрібнення зерна, метал набуває високих механічних властивостей.

Ділянка d - зона неповної фазової перекристалізації. Метал, що нагрівається вище температури 727°C, між лініями PS і GS має дрібне (перекристалізоване) зерно перліту і велике зерно фериту, тобто характеризується різнозернистістю. Механічні властивості металу з таким зерном невисокі.

Ділянка e - зона рекристалізації. Метал нагрівається до температури вище 450-500°C, але нижчій 727°C, тому фазових перетворень в металі не відбувається, але якщо метал до зварювання піддавався пластичній деформації, то на цій ділянці відбувається рекристалізація.

Ділянка жс - ділянка синьоломкості. За структурою частина металу, що нагрівається, не відрізняється від основного. Проте метал ділянки має дещо знижені пластичність і в'язкість, а також велику схильність до утворення тріщин.

Ширина зони термічного впливу залежить від виду, способу і режиму зварювання. При ручній дуговій - це 2,5-6,0 мм; при автоматичному зварюванні під шаром флюсу - 2,5-4,0 мм; у середовищі захисного газу - 1,0-2,5 мм; електродами з товстою обмазкою - 4,0-10,0 мм; при газовому зварюванні - 20-25 мм.

Слід зазначити, що на механічні властивості низьковуглецевої сталі зварювання робить незначний вплив. При зварюванні ж конструкційних сталей в зоні термічного впливу можуть відбуватися значні фазові зміни. В цьому випадку механічні властивості металу зони термічного впливу відрізнятимуться від властивостей основного металу, що знижує показники зварного з'єднання.

У металі шва і прилеглих до нього ділянках можуть виникати гартівні напруження і навіть тріщини.

Значно знизити термічний вплив процесу зварювання на метал шва і пришовної зони і одержати якісне з'єднання можна правильним вибором режиму і техніки зварювання, а також хорошою підготовкою виконання шва.

Зварні вироби в сучасному машинобудуванні набули значного поширення.

Зварювання все більше і більше впроваджується у всі галузі промисловості і будівництва.

Раціональне використання зварних конструкцій припускає забезпечення необхідної якості при мінімальній трудомісткості і вартості їх виготовлення.

У області зварювання особливо широке застосування одержують зварно-литі і зварно-ковані конструкції.

Зварно-литі конструкції складаються з декількох виливків, зварюваних між собою або із заготовками з прокату і поковок, особливо доцільно застосовувати при неможливості відлити вироби цілком з яких-небудь технічних причин.

Зварно-литі конструкції мають великі переваги в порівнянні з суцільнолитими, а саме:

- суттєво спрощують технологію лиття окремих елементів зварно-ливої конструкції;

- покращують якість окремих виливків в порівнянні з якістю суцільноливої деталі за рахунок технології лиття і подальшої термічної обробки;

- мають нагоду зменшити вагу всієї конструкції за рахунок поліпшеної технологічності отримання відливків меншої товщини стінки.

При створенні зварного виробу можуть бути два випадки:

- а) зварюється конструкція з частин, виготовлених з однієї і тієї ж марки сплаву;

- б) конструкція виготовлена з частин із різних марок сталей.

У обох випадках необхідно звертати увагу на термічну обробку зварюваних частин конструкції, чітко визначити-

ся, який технологічний процес термічної обробки повинен бути виконаний, щоб якість зварного виробу задовольняла експлуатаційні вимоги.

Для цього необхідно знати, яка структура утворюється в зоні зварювання і прилеглих до неї ділянках основного металу, оскільки у зв'язку з неоднорідністю структури будуть неоднорідні і механічні властивості.

Ділянка перегріву має знижені механічні властивості, а ділянка нормалізації, навпаки, підвищені, іноді навіть такі, що перевищують властивості основного металу; ділянка синьоломкості, не відрізняючись за структурою металу, має знижену ударну в'язкість і вищий поріг холодноломкості.

Все вказане вище свідчить про те, що подальша, після зварювання, термічна обробка має велике значення для отримання якісного зварного з'єднання і впливає на експлуатаційні характеристики всієї конструкції в цілому.

3.2 Термічна обробка зварних конструкцій з низьковуглецевих сталей

Термічна обробка сталі, і як окремий випадок термічна обробка зварних з'єднань, включає різні операції теплової дії на метал, при якому відбуваються зміни будови, фазового стану, рівня вільної енергії фаз, величини і розподілу мікро- і макронапружень і відповідно механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей.

При з'єднанні виробів зварюванням у результаті зосередженої місцевої теплової дії в основному металі відбувається зміна структури, властивостей і з'являються залишкові деформації і напруження. Усунення внутрішніх напружень, що виникають при зварюванні, і зміна структури і властивостей наплавленого і основного металів в зоні термічного впливу досягаються подальшою, після зварювання, термічною обробкою.

Зняття внутрішніх напружень досягається загальним або місцевим **високотемпературним відпуском (низьким відпалом) при 600-650°C**. Загальний відпуск зварних виробів проводиться в печі.

При зварюванні трубопроводів або інших довгомірних конструкцій виконують так звану **місцевий відпуск**, коли нагрівання зони зварювання і пришовної зони проводиться спеціальними індукторами струмами низької (~50 Гц) або високої (1000-10000 Гц) частот.

Значне спрощення процесу термічної обробки великих зварних з'єднань досягається застосуванням низькотемпературного відпуску, коли метал нагрівається по обидва боки від шва двома газовими пальниками до температури 150-300°C. Низькотемпературна термічна обробка забезпечує зняття напружень в зварному шві, але не виправляє мікроструктуру зони термічного впливу основного металу.

У більшості випадків у зварних конструкціях з низьковуглецевих сталей внутрішні напруження знімати не вимагається, оскільки практика експлуатації показала, що вони суттєво не впливають на міцність конструкцій.

При зварюванні під флюсом наплавлений метал утворюється найчистішим, без забруднень. Для зміни дендритної структури вирівнювання напружень після автоматичного зварювання під шаром флюсу проводять **високотемпературний відпал 950-1000°C**, який, покращуючи мікроструктуру, змінює механічні характеристики, знижуючи міцність і підвищуючи пластичність і в'язкість. **Нормалізація при температурі 920-950°C** - найпростіший і дешевший процес термообробки конструкцій, виготовлених з низьковуглецевих сталей.

Зварні конструкції невеликої товщини, наплавлені автоматичним зварюванням під шаром флюсу (ємності, казани, труби великого діаметра і ін.), **піддаються високому відпуску** (низькому відпалу) для зняття внутрішніх напружень при **600-650°C**. Високий відпуск не підвищує межі витривалості, а іноді навіть знижує.

При зварюванні електродами без обмазки відбувається значне насичення наплавленого металу азотом. На рис. 3 наведені графіки, з яких видно, як впливає термічна обробка на механічні властивості.

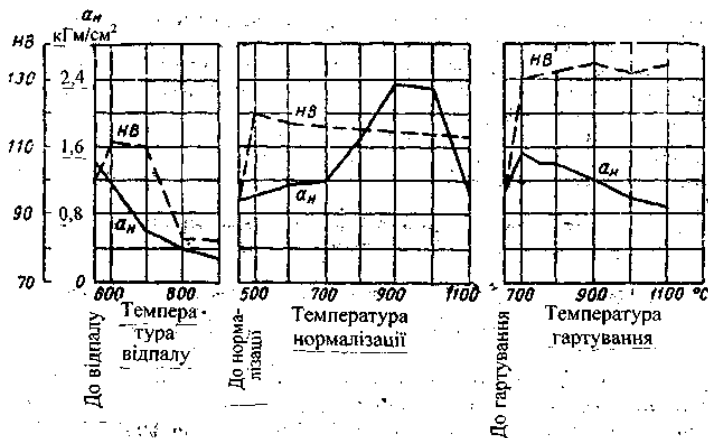


Рисунок 3 - Діаграми залежності механічних властивостей металу, наплавленого електродом без обмазки, від температури і виду термообробки

Високотемпературний відпал так само, як і після автоматичного зварювання, не тільки не покращує, але навіть погіршує механічні властивості металу, наплавленого електродом без обмазки; наплавлений метал складається з великих зерен фериту, нітридних голок і глобулей, розміщених у вигляді сотки навколо зерен фериту і азотного евтектоїда.

Найсприятливіше впливає на наплавлений метал **нормалізація**, після якої після будь-якого виду зварювання мікроструктура складається з дрібних зерен фериту, пронизаних невеликою кількістю нітридів, і евтектоїда. Механічні властивості наплавленого металу підвищуються.

За необхідності зварні конструкції можна піддавати **зміцнюючій термічній обробці - гартуванню**. Після гар-

тування наплавлений метал має мікроструктуру азотного мартенситу. Виділення нітридів і карбідів, як це відбувається при відпалі, при швидкому охолодженні не відбувається.

Підвищення міцності при підвищених навантаженнях зварних з'єднань з низьковуглецевих сталей досягається поверхневою механічною обробкою - **обкаткою роликками**, кульками або **обдуванням дробом**.

Після такої обробки в поверхневих шарах металу в результаті пластичної деформації виникає наклеп і з поверхні напруження стиснення.

3.3 Термічна обробка зварних з'єднань з легованих сталей

Зварювання легованих сталей супроводжується такими ж структурними змінами в зоні термічного впливу, як і у вуглецевих (а саме в більшості випадків відбувається утворення мартенситу), в результаті яких різко знижується пластичність, виникають значні внутрішні напруження, у зв'язку з чим, як в зварному шві, так і в основному металі можуть виникнути тріщини. Тому при зварюванні легованих сталей застосовуються попередня термічна обробка зварюваних виробів, термічна обробка в процесі зварювання (супутня зварюванню) і подальша після зварювання (остаточна) термічна обробка.

Попередня термічна обробка полягає у відпалі (повному, ізотермічному або низькотемпературному - пом'якшувальному) і застосовується, якщо зварюється метал неоднорідний за мікроструктурою, що має внутрішні напруження - в литому стані або після плющення, кування і т.п. **Супутня зварюванню термічна обробка** полягає в підігріві, здійснюваному до зварювання або під час зварювання, або після зварювання (вирівнюючий нагрів), з подальшим сповільненим охолодженням. Сам нагрів - передача тепла зварюваним виробам, зварному шву або при-

шовній зоні, що здійснюється або струмами високої, низької або промислової частоти, контактним нагрівом в печі або газовим полум'ям.

Подальша після зварювання (остаточна) термічна обробка проводиться з метою поліпшення структури зварного шва і зони термічного впливу і отримання необхідних механічних властивостей.

Якнайповніше це досягається **гартуванням з відпуском** за звичним для даної сталі режимом.

Наприклад, після термічної обробки зварного з'єднання із сталі 30ХГСА за режимом: гартування від температури 880°C в маслі і відпуск при 550°C - механічні властивості шва і пришовної зони зрівнюються із властивостями основного металу.

Мікроструктура шва і основного металу однакова - троостосорбіт.

Якщо вироби перед зварюванням були термічно оброблені (загартовані і відпущені), то після зварювання доцільно проводити їх відпуск при температурі відпуску попередньої термічної обробки.

Для зниження твердості і можливості виконувати механічну обробку зварного шва проводиться високотемпературний відпуск при 550-600°C.

Зварні вироби, до яких не ставлять підвищених механічних властивостей, можна піддавати після зварювання нормалізації.

4 ЗАВДАННЯ І ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У даній роботі студент вивчає мікроструктуру шліфів, вирізаних із зварних з'єднань після дугового електрозварювання покритими електродами.

Під час виконання лабораторної роботи необхідно:

1 Ознайомитися і вивчити теоретичні положення теми занять.

2 Досліджувати під мікроскопом мікрошліфи зварних зразків вуглецевої і легованої сталей за вказівкою викладача, зарисувати мікроструктуру.

3 Дослідити мікротвердість і побудувати графік зміни мікротвердості по перетину, перпендикулярному до шва.

4 Вибрати вид термічної обробки, режими нагріву і провести термообробку зварних зразків.

5 Дослідити підготовлені мікрошліфи зварних зразків, термічно оброблених за вибраним режимом, описати мікроструктуру і зарисувати її.

6 Заміряти мікротвердість термічно обробленого мікрошліфа по перетину, перпендикулярному до зварного шва, і побудувати графік.

7 Порівняти результати досліджень і зробити висновки.

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт з лабораторної роботи оформляється безпосередньо на занятті в окремому зошиті (акуратно) згідно із завданням і послідовністю дослідження.

У кінці лабораторної роботи звіт підписує викладач.

У разі подання звіту до кінця лабораторного заняття робота вважається невиконаною.

6 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

6.1 Чим визначаються властивості зварного з'єднання?

6.2 Який рівень ліквації легуючих елементів на первинних межах?

6.3 Що таке зональна ліквація?

6.4 Що таке дендритна ліквація?

6.5 Чому центральна зона шва виявляється такою, що збагачена домішками?

6.6 Що таке міждендритний простір? Що таке дендрит?

- 6.7 Як одержати дрібнозернисту структуру зварного шва?
- 6.8 Що таке зона термічного впливу?
- 6.9 Як збільшити число центрів кристалізації і до чого це приводить?
- 6.10 Назвіть приблизну температуру повного розплавлення низьковуглецевої сталі.
- 6.11 Що таке видманштеттова структура, чи можна її уникнути, чи можна її виправити і як?
- 6.12 Що таке перекристалізація зерна?
- 6.13 Що таке синьоламкість сталі в зварному шві?
- 6.14 Від яких факторів залежить ширина зони термічного впливу?
- 6.15 Що таке рекристалізація?
- 6.16 Яка ділянка зони зварного шва має підвищені механічні властивості, знижені властивості і чому?
- 6.17 Які види термічної обробки виробів застосовують після зварювання?
- 6.18 Які переваги і призначення нормалізації?
- 6.19 Які переваги і призначення відпалу?
- 6.20 Які переваги виробів, одержаних зварюванням, перед литими?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гладин В.Т., Гринбеог Б.Г., Никонов В.Я. Технология металлов и других конструкционных материалов. -М.: Высшая школа, 1970. -704 с.
2. Солнцев Ю.П., Веселов В.А. и др. Металловедение и технология металлов. -М.: Металлургия, 1988. - 510 с.

Лабораторна робота 7
«Вибір матеріалу, термічна обробка,
мікроструктура і властивості деталей автомобіля»
(тривалість роботи - 6 год.)

1 МЕТА РОБОТИ

- 1.1 Вивчити короткі теоретичні положення.
- 1.2 Навчитися вибрати сталі для виготовлення деталей автомобіля і призначати технічні умови до якості готової деталі.
- 1.3 Проводити термічну обробку деталей і зразків сталей і досліджувати мікроструктуру і властивості.

2 ОБЛАДНАННЯ, ІНСТРУМЕНТ І ДОПОМІЖНІ МАТЕРІАЛИ

- 2.1 Лабораторні електropечі на температуру 1200, 900, 600, 200⁰С – 4 шт.
- 2.2 Деталі автомобіля і зразки сталей.
- 2.3 Гартівні ванни (вода, масло) – 2 шт.
- 2.4 Електрозаточувальний верстат – 1 шт.
- 2.5 Установка для виготовлення мікрошліфів.
- 2.6 Абразивні матеріали.
- 2.7 Твердоміри ТК, ТШ і ПМТ-3.
- 2.8 Металографічні мікроскопи - 5 шт.
- 2.9 Реактиви для протравлювання мікрошліфів.
- 2.10 Бланки технологічних карт.

3 КОРОТКІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

3.1 Значення термічної обробки деталей машин, у т.ч. і автомобілів, з кожним роком збільшується у зв'язку з вимогами до підвищеної міцності деталей, експлуатаційних властивостей і зниження металоємності вузлів конструкції і в цілому машин.

При забезпеченні зміцнюючих властивостей сталі перш за все враховується **розмір аустенітного зерна в стані поставки** перед остаточною термічною обробкою. Важливу **роль відіграє прокатування сталей**. Поєднання прогартовуваності і зернистості сталі з урахуванням її вартості і придатності для здійснення прогресивних процесів формоутворення і зміцнення є основою вибору матеріалу.

Головним спрямуванням у розвитку прогресивних технологічних процесів зміцнення деталей автомашин на найближчий час є таке:

- в області поверхневого зміцнення – широке використання нагрівання струмами високої частоти (СВЧ) не тільки для гартування, але і для хіміко-термічної обробки;

- в області об'ємного зміцнення – застосування ізотермічних процесів;

- в області процесів хіміко-термічної обробки впровадження газової цементації замість цементації в твердому карбюризаторі, процесів нітроцементації замість цементації, іонної азотизації замість азотизації, дифузійного хромування, борування та ін.;

- в області попередньої термічної обробки - використання прокатного і кувального тепла.

Успішне освоєння нових технологічних процесів забезпечується також прогресивними виплавками сталі, нових марок сталей зниженої, підвищеної або регламентованої прогартовуваності, що не містять дефіцитних, дорогих легуючих елементів.

Застосовуючи сталі з природною дрібнозернистою будовою і гарантованою прогартовуваністю, виключаються проміжні або повторні нагрівання і охолодження; скорочує час термічної обробки; економиться електроенергія й ін.

Умови експлуатації автомобілів дуже складні і різноманітні. Температура повітря від +50 до -60⁰С, його вологість, склад води, що заливається в радіатор, стан шляхів і багато іншого примушують з особливою відповідальністю

підходити до забезпечення експлуатаційних характеристик деталей автомобіля.

Як правило, їх передчасний вихід з ладу переважно пов'язаний з явищем утомленості і перенапруженням металу при експлуатації автомобіля і з недосконалістю процесів термічного зміцнення.

У більшості зміцнених деталей автомобіля, що ламалися, в структурі знаходять у мікроструктурі ферит, карбід або цементитну сітку, підвищений вміст залишкового аустеніту або великогочастий мартенсит.

3.2 Основні вимоги, що пред'являються до якості автомобільних деталей

Відповідно до навантажень і умов роботи деталі автомобілів можна розподілити на деталі, що працюють:

- без силових навантажень;
- при терті без складних напружень;
- при терті в поєднанні з складними навантаженнями, що викликають утомленість;
- без тертя, при складних напруженнях, що викликають утомленість;
- на розтягування, згин і стиснення;
- на розтягування без згину;
- в складних умовах.

Відповідно до цього конструкційні сталі, використовувані для виготовлення деталей автомобіля, поділяються на сталі, використовувані для деталей:

- що піддаються термічному або хіміко-термічному поверхневому зміцненню;
- що піддаються об'ємному термічному зміцненню;
- термічно зміцнюваних;
- працюючих в особливих умовах.

Першу групу складають вуглецеві і леговані сталі мало- і середньовуглецеві; до другої **групи** входять середньовуглецеві, вуглецеві і леговані сталі; до третьої **групи**

входять тільки вуглецеві сталі; у четверту – тільки леговані.

Для поверхневого термічного зміцнення з використанням СВЧ застосовуються сталі марок 45, 45Ц, 40Р, 40ХГТ, 40ХГР. В цих сталях є присадки цирконію, титану або бору. Присадки названих елементів забезпечують при термічному зміцненні утворення дрібнозернистої структури, що підвищує динамічну міцність.

Присадка цирконію і сірки покращує оброблювану різанням.

Присадка бору у вуглецевій сталі збільшує її прогартуваність і підвищує міцність.

Високолеговані хромонікелеві, хромонікелемолібденові і ванадієві сталі використовують для деталей, що працюють у складних специфічних умовах.

Сталі, леговані титаном, цирконієм, при нагріві струмами високої частоти можна нагрівати для гартування до температур 1080 і 1250⁰С відповідно і отримувати дрібнозернисту структуру, застосовуючи ізотермічне гартування. Сталі з присадками титану і цирконію бору, ніобію і ванадію можна піддавати високотемпературній цементації, дифузійному хромуванню і боруванню, хромосиліціюванню, не побоюючись росту зерна. Особлива увага в зміцнюваних сталях приділяється прогартуваності.

3.3 Прогартуваність сталей є основним показником у поведінці деталі в експлуатації, її витривалість при знакозмінних навантаженнях. Прогартуваність залежить від ступеня легуваності сталі і від величини зерна.

3.4 Однією з найголовніших експлуатаційних властивостей сталей для виготовлення деталей автомобіля є **втомна міцність** – це явище руйнування металу в результаті багатократного прикладення навантаження при величині напружень, менших за межу текучості.

Втомна міцність є здатністю металу чинити опір пружним і пластичним деформаціям при змінних напруженнях.

Виходячи з кінцевої мети, яка переслідується при застосуванні термічної зміцнюючої обробки, необхідно для запобігання явищу утомленості підібрати сталь з **високою межею текучості** і належною прогартуваністю, що забезпечує відсутність у структурі фериту.

Крім того, деталі необхідно конструктивно виконувати так, щоб не могли утворюватися концентрації напружень. Концентраторами напружень є канавки шпон, борти, отвори з гострими краями, підрізи, переходи під гострими кутами, подряпини на поверхні, шлакові вclusions, вм'ятини, різні внутрішні недоліки металу. Навіть ступінь чистоти обробки шліфуванням впливає на утомленість.

Враховуючи вищесказане, можна ще раз підкреслити, що **величезну роль у підвищенні експлуатаційних властивостей деталей автомобіля відіграє зміцнення поверхні виробів.**

При цементації маловуглецевої сталі межа текучості, а отже, і витривалості підвищується у декілька разів. Такий же вплив роблять гартування нагрівом струмами високої частоти, нітроцементация, азотизация, дифузійне хромування, пластична деформація – наклеп. Тонкий наклепаний шар, що утворюється внаслідок механічної дії дробу, схильний до дії стискуючих напружень; крім того, удари дробу знищують або знижують на поверхні металу осередки концентраторів напружень.

Наприклад, ресора автомобіля, оброблена дробом, витримує ~ 340 тис. хитань, необроблена – 170 тис. Шестерні, оброблені дробом, витримують випробування на пітингоутворення ~ 22 год.; що наклепують, ~ 200 год. Пластичну деформацію здійснюють не тільки обдуванням дробом, але і обкаткою роликками, вібронаклепом кульками, у т.ч. з використанням ультразвукових частот. Обробці піддають поверхню всієї деталі або її частини: галтелі, шпонкового паза, зубів шестерень, частини вала і т.д.

Приклади переконливо доводять доцільність зміцнення дробом автомобільних деталей для підвищення їх терміну

служби, **що приводить до зниження витрати запасних частин**. Дробом рекомендується зміцнювати такі автомобільні деталі: ресори, пружини, шатуни, осі, півосі, цапфи, поворотні кулаки, важелі, вали, шестерні та ін.

Необхідно відзначити також **особливий вплив корозії** і зневуглецювання, які значно знижують втомну міцність.

3.5 Зносостійкість автомобільних деталей, що піддаються зміцнюючій об'ємній, хіміко-термічній або поверхневій обробці, багато в чому залежить від якості зміцненого шару. Якість шару в основному залежить від хімічного складу шару і його мікроструктури.

Більшість деталей автомобіля працює в умовах тертя кочення з додатковим ковзанням.

Дуже поширена думка, що з підвищенням змісту вуглецю в зміцненому шарі зносостійкість збільшується, **але поява сітки цементиту різко знижує втомну міцність** і викликає руйнування при терті і зносі. А наявність дисперсних включень карбідів при відповідній структурі зміцненого шару чинить опір зносу краще.

Підвищення вмісту залишкового аустеніту в структурі знижує зносостійкість, сприяє появі пітингу.

Після подвійного гартування цементованого шару зносостійкість збільшується у зв'язку з малою кількістю залишкового аустеніту, дрібнодисперсністю карбідів і однорідністю мікроструктури.

При хіміко-термічній обробці деталей, особливо деталей типу шестерень, найбільшим недоліком є зміна форми і розмірів у процесі насичення і охолодження при гартуванні, тому при укладанні деталей на піддони або в пристроях для нагріву і транспортування їх, вони повинні бути закріплені, інакше деталі можуть деформуватися, оскільки використовувані для виготовлення деталей автомобіля сталі при температурах 800-950⁰С мають низьку межу текучості.

Найбільш чутливі до викривлення, наприклад, спіраль-но-конічні колеса, шестерні гіпоїдних мостів. Такі деталі

слід піддавати гартуванню в штампах або на спеціальних оправках.

На підставі вищевикладених загальних рекомендацій в табл. 1(5) і 2 (10) наведені технологічні схеми хіміко-термічної обробки типових автомобільних деталей, використовуваних у вітчизняній промисловості.

Для контролю якості мікроструктури деталей після ХТО для легованих сталей типу 18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 20ХГНТР, 20ХН2М, що піддаються безпосередньо гартуванню після насичення, існують розроблені шкали бальності для оцінки надлишкових карбідів і кількості залишкового аустеніту в дифузійному шарі (додаток А).

4 ТЕХНІЧНІ УМОВИ НА ЯКІСТЬ ТЕРМІЧНО ОБРОБЛЕНИХ ДЕТАЛЕЙ

Термічна обробка застосовується для підвищення терміну служби деталей. Технологи-металознавці повинні розробляти і впроваджувати прогресивні процеси, що забезпечують кращу якість продукції. Прикладом може бути експлуатація двигунів без гільзи і з термічно обробленими гільзами.

Без гільз середній термін служби двигуна визначається приблизно 100 тис. км пробігу автомобіля до першого ремонту, і цей термін досягається у значному числі випадків. Застосування гільз подовжує термін служби двигуна в 1,5-2 рази.

Іншим прикладом може бути зміцнення деталей обдуванням дробом, цементациєю або азотизациєю. В результаті застосування цих процесів термін служби деталей збільшується у декілька разів (табл. 1, 2).

Аналіз причин передчасного виходу з ладу деталей автомобіля свідчить про можливість у всіх випадках, змінивши конструкцію деталі (матеріалу) або термічну обробку, підвищити термін служби.

4.1 Двигун. Основними деталями двигуна, що піддаються термічній обробці, є гільзи двигунів, колінчастий вал, розподільний вал, поршневі пальці, шатун, поршень, штовхачі, клапани.

4.1.1 Передчасний вихід з ладу **колінчастих валів** (рис. 1) може відбутися внаслідок поломки від утомленості, що спостерігається рідко, і внаслідок зносу шийок.

Поломки від утомленості відбуваються тільки в результаті підрізу щок, тобто зменшення або зникнення радіуса в місці переходу шийки до щоки. Шийки колінчастих валів, як правило, піддаються індукційному гартуванню.

Передчасний знос шийок спостерігається у разі незадовільної якості гартування при нагріві СВЧ.

Незадовільна якість може виникнути у разі порушення режиму нагріву або охолодження, що відбувається автоматично і може бути виявлене лише при ретельній перевірці твердості мікроструктури.

На рівномірність гартування впливає також підготовка структури сталі. Дрібнозерниста структура сприяє підвищенню якості загартованих шийок, тому що при нагріві СВЧ аустеніт спочатку утворюється на стику зерен, і чим дрібніші будуть зерна, тим швидше закінчиться перетворення перліту в аустеніт. У зв'язку з цим при штампуванні колінчастих валів заздалегідь рекомендується надавати поліпшенню або нормалізації.

Для виготовлення колінчастих валів використовуються сталі 45, 50, 45Г2, 45ХН, 60ХФА з гартуванням після нагрівання СВЧ; чавуни ВЧ 50-1,5, СЧ75, СЧ65, КЧ60-3 з об'ємним гартуванням; цементовані сталі 25ХГТ, 30ХГТ, 20ХГНТР, 20ХН2М, 18ХНМА, 20Х2Н4А, 20ХН3А, 25ХГНМАЮ й ін. і азотовані – 18Х2Н4ВА, 38ХН3ВА, 38ХН3МА. Режими термічної і хіміко-термічної обробки колінчастих валів подані в табл.1.

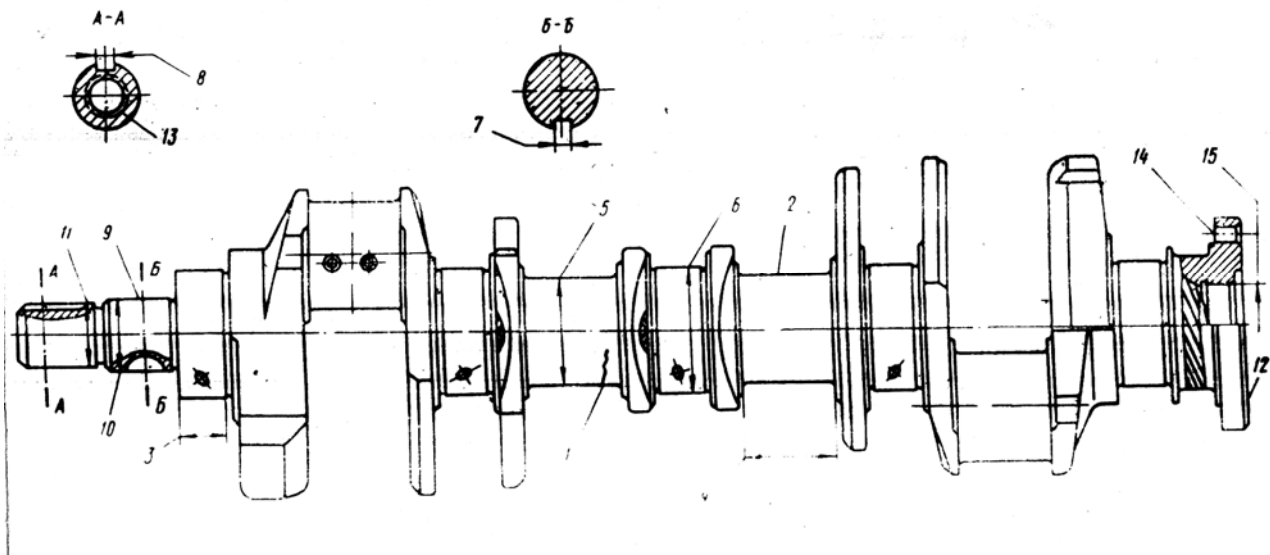


Рисунок 1 – Колінчастий вал

Таблиця 1 - Матеріали і режими термічної обробки автомобільних деталей,
що піддаються покращанню на заданий рівень міцності

Твердість	Марка сталі	Режим термічної обробки				Деталі	Маса деталі, кг
		гартування		відпуск			
		температура нагрівання, °С	середовище охолодження	температура, °С	середовище охолодження		
1	2	3	4	5	6	7	8
НВ 207-241	35	850-880	Розчин CaCl ₂ у воді	500-550	Повітря	Вилки, кроки, ушко, опори, фланці	0,5-5,0
			Вода	560-600	Повітря	Стягування кронштейна	10,0
	40	830-870	Вода або розчин CaCl ₂ у воді	530-580	Повітря	Фланці Цапфи	5,0 14,0
		45	830-860	Вода	530-570	Повітря	Тяга сошки
			800-820	Вода 40-45°С	610-640	Повітря	Осі балансиної підвіски
	50	820-850	Розчин CaCl ₂ у воді	560-600	Повітря	Гаки	9,5
	40P	880-900	Масло	600-630	Вода	Шатуни	1,0-1,5
НВ 217-235	35	830-840	Вода 15-30°С	580-610	Повітря	Гаки буксирні	-
	45	830-860	Вода	540-580	Повітря	Штоки важеля	1,0
			Розчин CaCl ₂ у воді	550-600	Повітря	Вилки	8,5-12,0
	40P	880-900	Масло	580-600	Вода	Шатуни	1,0-1,5
НВ 229-235	40X	850-870	Масло	650-680	Повітря	Цапфи поворотного кулака	13,5
НВ 229-269	40XФА	850-870	Масло	670-690	Повітря	Колінчасті вали дизельних двигунів	-

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
НВ 241-286	35	830-840	Вода 15-300С	560-590	Повітря	Шестерні розподільні, колінвали	-
	45	830-860	Вода або вода + розчин CaCl ₂	530-570	Вода	Фланці, шестерні, передні осі	0,8-3,2 59,0
	45	830-860	Масло IC-12, IC-20	540-560	Емульсія	Вали водяного насоса	до 1,0
	35Х	840-870	Масло	500-550	Повітря	Шестерні	2,0
	38ХМА	840-860	Масло	600-650	Повітря	Півмуфти	1,0
	40Х	780-820	Вода 50-600С	650-680	Повітря	Кулаки поворотні	16,0
			Масло	550-600	Вода	Сошки, драбини, вали, колонки відомі	2,0-6,0
		840-870	Масло	610-640	Повітря	Тяга поперечна	12,5
	40ХН	840-860	Масло	550-600	Повітря	Вилки	до 0,2
40ХН2МА	840-860	Масло	570-600	Повітря	Шатуни	6,0	
40ХГТР	830-860	Масло	580-620	Вода	Маточини, вали	1,0-8,0	
НВ 255-302	40Х	850-870	Масло	590-620	Вода	Вали карданні – основні	5,0
			Масло	610-640	Повітря	Тяга рульового управління	10,0
НВ 285-302	40Х	850-870	Масло	610-640	Повітря	Маточини відомого диска	1,0
НВ 255-321	40Х	840-860	Масло	500-550	Повітря	Чашки, важелі, кулаки поворотні	3,5-22,0
HRC 28-33	45	840-860	Масло IC-12, IC-20	450-500	Емульсія	Штанги штовхача клапана	0,1
HRC 30-40	45	840-860	Масло MC-20 180±10 ⁰ С	450-500 електро-прес	Повітря	Кільця демфера зчеплення	0,3
HRC 35-45	50	840-860	Масло MC-20 180±10 ⁰ С	450-500 електро-прес	Повітря	Диски відомі зчеплення	1,1
HRC 38-42	45	830-850	Вода	420-440	Вода	Втулки розпори, шайби регулювальні	0,1-0,2
HRC 42-48	45	830-850	Вода	390-410	Вода	Вкладиші балансирної підвіски	0,1

Таблиця 2 – Режими термічної обробки деталей трансмісії і двигуна,
що піддаються хіміко-термічній обробці

Деталі	Марка сталі	Маса деталі, кг	Режими термічної обробки				Товщина шару, мм	Твердість	
			спосіб хіміко-термічної обробки	температура дифузійного насичення, °С	температура нагріву під гартування, °С	середовище охолодження при гартуванні		поверхні	серцевини
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дрібні деталі гальмової апаратури	08	0,02	Нітроцементация	850	800	Масло	0,15-0,3	50-60	Не обгортюється
		0,04		860	770	Масло МС-20 180±10°С	0,15-0,3	56-62	
		0,1		870	820	Водний розчин 5-6% NaOH ₂ , 4-8% Na ₂ CO ₃ , у штампі, у затисненому стані	0,15-0,3	56-62	
Дрібні деталі кузовної арматури і коробки зміни передач	10 10кп	0,01-0,25	Те саме	860	770	Те саме	0,15-0,3	56-62 52-58	Те саме
Дрібні деталі силових агрегатів (черв'яки, шестерні)	20	0,5-0,35	»	860	770	Масло МС-20 180±10°С	0,15-0,3 0,3-0,5	56-62	»
Кульбові пальці	20	0,02	»	850	800	Масло	0,5-0,7	? 56	»
Деталі ручного гальма (собачки, шоки, сухарі та ін.)	20	0,03	»	870	850	Масло МС-20 180±10°С	0,15-0,3	56-62	
		0,03-0,10	Цементация	910	850	Масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 100°С	1,1-1,7 1,2-1,6	56-62	

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Деталі силових агрегатів, що працюють на знос (кільця, вкладиші, золотники та ін.)	35	0,2	Нітроцементация	860	860	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,5-0,7	≤ 56	Не обгворюється
	15Х	0,2-0,4	Цементация	850	850	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,3-0,5 0,7-0,9	56-62	Те саме
		0,5	»	940	850	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,9-1,3	56-62	»
Деталі передньої підвіски	15Х	0,05	»	940	810	Масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 100 ⁰ С	0,6-1,0	56-62	»
Шестерні провідних мостів легкових автомобілів	19ХГН	-	Нітроцементация	870	800	Масло МЗМ-16 t = 75 ⁰ С	0,8-1,1	59-64	32-45
Зубчасті колеса провідних мостів легкових автомобілів						Прес Гліссон, масло МЗМ-16 t = 30-40 ⁰ С	0,8-1,1	58-63	32-45
Шестерні провідних мостів і роздаточних коробок вантажних автомобілів (модуль шестерень 5, 6, 10)	15ХГН2ТА 20ХГН2ТА	-	Цементация	920	-	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	1,2-1,5	-	-
	12Х2Н4А	0,85	»	940	850	Масло МС-20 170±100С	1,2-1,6	58-65	30-45
Деталі насоса гідропідсилювача (ротори та ін.)	20ХГНТР	0,20	Нітроцементация	860	860	Масло МС-20 170±10 ⁰ С	0,6-0,8	58-62	30-45

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Деталі рульового керування вантажних автомобілів: без проміжної механічної обробки (вал, сошки рулюючі, гвинт рульового управління)	20X2H4A	2,6	Цементація	940	850	Масло МС-20 170±10 ⁰ С	1,2-1,4	56-62	30-45
	25ХГТ	1,3	»	930	830 електрична піч	У пресі, масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 100 ⁰ С	1,2-1,6	58-62	28-45
з проміжною механічною обробкою (рейка-поршень)	18ХГТ	3,4	»	930, ізотермічна витримка 650-680 ⁰ С, охолодження з піччю до 600 ⁰ С, далі на повітрі	870	Масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 100 ⁰ С	1,2-1,6	56-62	30-40
Деталі диференціала (хрестовини, стеліти)	18ХГТ	2,0	»	940	850	Масло МС-20 170±10 ⁰ С	1,2-1,6	56-62	-
	25ХГТ	0,5	Нітроцементація	860	860	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,8-1,1	58-65	35-45

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Деталі головної передачі заднього моста вантажних автомобілів (шестерні відомі і ведучі, шестерні півосі)	25ХГТ	5,8	Цементация	940	850	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,9-1,3	58-62	30-45
	30ХГТ	5-6,6	»	940	850	Масло ІС-20, ІС-12, t ≤ 100 ⁰ С	1,0-1,4	56-62	35-45
	25ХГНМ 25ХГНМТ	10-6	»	940	840	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	1,0-1,4 1,5-1,8	58-62	30-45
	25ХГНМ 25ХГНМТ	25	»	940	850	У штампі, масло, t ≤ 45-70 ⁰ С	1,5-1,8	58-62	30-45
	18ХГТ 25ХГТ	2,2-2,5	»	940	850	Масло МС-20 170±10 ⁰ С	1,2-1,6 1,0-1,4	56-62	30-45
Шестерні і вали коробки зміни передач вантажних автомобілів	25ХГТ	1-2	Нітро-цементация	860	850	Масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 90 ⁰ С	0,5-0,8	57-60	35-45
		1,10	Те ж	860	860	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,5-0,7	60-65	35-45
	25ХГМ	2,4-3,9	»	860	860	Масло ІС-12, ІС-20, t ≤ 90 ⁰ С	0,5-0,8	57-60	35-45
		1,2-7,5	»	860	860	Масло МС-20 180±10 ⁰ С	0,6-0,8 0,8-1,1	60-65 57-60	35-45
* Перепад температур дифузійного насичення і нагріву під гартування складає ±10 ⁰ С. Завершальною операцією для всіх режимів хіміко-термічної обробки є низькотемпературний відпуск 160-200 ⁰ С + азотування									

Технічні вимоги до зміцнюючої термічної обробки колінвалів: твердість серцевини – HRC 30-45; поверхні – HRC 58-65; азотованих – HV 900-1200.

Для найвідповідальніших валів з метою підвищення їх втомної міцності застосовують наклеп шийок з галтелями.

4.1.2 Розподільний вал (рис. 2). Поломок цієї деталі в експлуатації не спостерігається. Вали виходять з ладу раніше встановленого часу через знос кулачків в конусній частині (ніс). Знос може бути внаслідок зниженої твердості.



Рисунок 2 – Розподільний вал

Вимоги до якості кулачків і шийок розподільного вала ті самі, що і до шийок колінчастих валів, і їх твердість повинна бути не нижчою HRC 55-63.

При порушенні перпендикулярності осей розподільного вала і штовхача створюється концентрований тиск на головку клапана, що призводить до накручування металу на тарілку штовхача. При цьому кулачки швидко зношуються.

Для поліпшення якості гартування необхідно поковки розподільних валів піддавати поліпшенню або нормалізації.

Розподільні вали двигунів призначені для приводу клапанів, їх кулачки, що взаємодіють з штовхачами клапана, а також опорні шийки, ексцентрики і окремі торцеві поверхні повинні мати високу зносостійкість.

В основному застосовують такі варіанти виготовлення і зміцнення розподільних валів:

1 Вали з середньовуглецевих сталей 45, 50, 45ХН виготовляють гарячим штампуванням із зміцненням кулачків і опорних шийок поверхневим гартуванням з нагрівом СВЧ.

2 Вали з цементованих і нітроцементованих сталей 15Х, 18ХГТ, 30ХГТ та ін. з подальшим зміцненням кулачків і опорних шийок поверхневим гартуванням з нагрівом СВЧ.

3 Литі вали з перлітового сірого і високоміцного чавунів, зміцнюваних поверхневим гартуванням з нагрівом ТВЧ шийок і кулачків або шляхом відбілу носиків кулачків і гартуванням опорних шийок.

Оптимальна глибина загартованого шару рекомендується 2-3 мм, на носіку – до 10 мм. З причини великої довжини розподільного вала і несиметричного розташування кулачків вали дуже схильні при гартуванні деформації. У зв'язку з цим завжди розподільні вали піддаються правці прогинанням за рахунок деформації незагартованих проміжків між кулачками і шийками.

4.1.3 Клапани двигуна внутрішнього згорання подані на рис. 3.

Клапани мають грибоподібну форму. Звичайно їх штампують, внаслідок чого волокна розташовуються відповідно конфігурації клапана (рис. 4). За умов роботи на двигуні клапани розділяють на випускні і впускні.

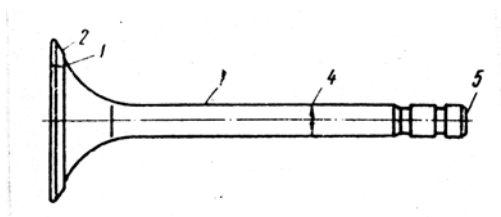


Рисунок 3 – Впускний клапан ДВС

Умови роботи головки і стержня (штовхача) випускного клапана різні. Головка клапана в процесі роботи сильно нагрівається (до 600⁰С і вище), стержень зношується, а кінець стержня зношується і знімається.

Тому матеріал випускного клапана повинен зберігати свої механічні властивості при високих температурах (ма-

ти жаростійкість і міцність), не піддаватися місцевому гартуванню при охолодженні, не давати залишкових деформацій, не піддаватися корозії при високих температурах, мати високий опір зносу і знімання.

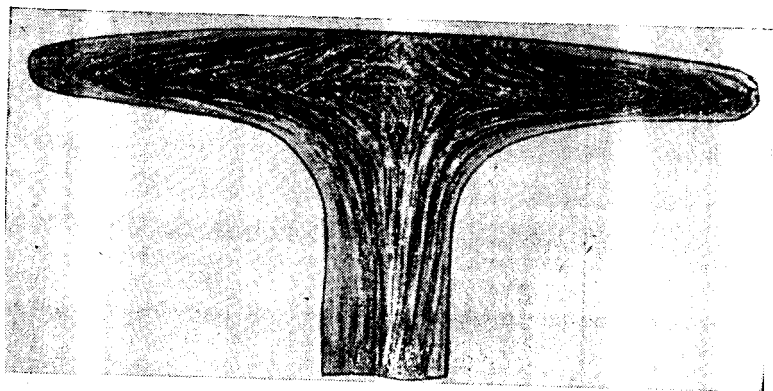


Рисунок 4 – Макроструктура клапана

Названі вимоги задовольняють окалиностійкі і жароміцні сталі - сильхроми - марок 4X9C2 і 4X10C2M, з яких в основному і виготовляють випускні клапани.

Ці сталі мають високі критичні точки, що важливо для клапанної сталі (сталь 4X9C2, температура точки A_{c1} - 900°C, а точки A_{c3} - 970°C; сталь 4X10C2M, температура точки A_{c1} - 900°C, а точки A_{c3} - 950°C).

Після штампування клапани піддають відпалу при 850-900°C (НВ 197-241).

Гартування клапанів проводиться подвійне - всього клапана і потім кінця стержня.

Перше гартування (всього клапана) – від 1050-1100°C з охолодженням в маслі, потім відпуск при 800-850°C з охолодженням у воді (для запобігання відпускнуї крихкості), HRC 30-36.

Друге гартування (кінця стержня клапана на довжину 4-7 мм) від 1050-1100°C з охолодженням в маслі, а потім відпуск 720-750°C (HRC≥40).

Нагрівання кінця стержня клапана для гартування проводиться струмами високої частоти або в установці для кінцевого нагрівання в електроліті.

Для підвищення жаростійкості головку клапана доцільно піддавати алітуванню.

На рис. 5 показана схема установки для алітування клапанів методом занурення в розплавлений алюміній.

Клапани 1, заздалегідь знежирені паром, конвеєром подаються до ванни 2 і занурюються головками в розплавлений флюс (склад: NaCl - 40%, KCl - 40%), кріоліт $AlF_3 \cdot 3NaF$ - 10%, фтористий алюміній AlF_3 - 10%), де витримуються 3 хв. У цій же ванні знаходиться тигель 3 з розплавленим алюмінієм, який автоматично підіймається в той момент, коли над ним проходить клапан, і головка клапана занурюється в розплавлений алюміній (температура 720-735°C) і витримується 5 с. Потім тигель 3 опускається і клапан переміщується в камеру 4, де надлишок алюмінію здувається гарячим повітрям.

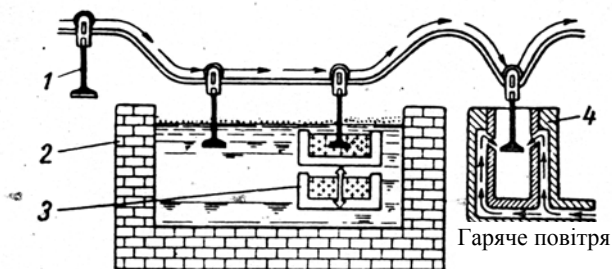


Рисунок - 5 - Схема установки для алітування клапанів

У результаті алітування на поверхні головки клапана утворюється шар загальною товщиною 0,04-0,05 мм, що складається з двох частин - шару чистого алюмінію і дифузійного шару хімічної сполуки Fe_2Al_5 .

У зв'язку з тим, що умови роботи головки і стержня клапана різні, а стержень у процесі роботи не нагрівається, для економії жароміцної сталі клапани іноді виготовляють

зварні: головка із сталі сильхром, а стержень з менш легованої сталі (як правило, із сталі, використовуваної для клапанів впускань).

Впускні клапани працюють при невисоких температурах. Вони повинні бути зносостійкі, а кінець стержня не повинен зніматись.

Впускні клапани виготовляють в основному із сталі 40X і 40XH. Клапани із сталі 40X гартують в маслі від 850-870°C і відпускають при 600-630°C протягом двох годин (HRC 30-36).

Потім проводять гартування кінця стержня клапана від 820°C з охолодженням в маслі (HRC 40-45).

Іноді термічну обробку впускних клапанів проводить з використанням тепла після штампування.

При такому способі можуть бути два режими:

1) безпосереднє гартування в маслі після штампування з попереднім підстижуванням до 800-850°C або без підстижування і відпуск при 600-630°C протягом двох годин;

2) ізотермічне гартування за режимом: штампування поковок, перенесення їх в ізотермічне середовище (луг або селітра) з температурою 390-500°C, витримка 15 хв., охолодження у воді, промивка в розчині хромпіка і остаточна промивка у проточній воді.

Практично найдоцільнішим є перший варіант як простіший.

Термічна обробка вставних гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання

До матеріалу вставних гільз ставляться вимоги хорошої опірності зносу (внутрішня поверхня гільзи).

Гільзи виготовляють з чавуну і сталі. Чавун застосовується перлітовий сірий або легований з рівномірно розподіленими завихреними середніми і дрібними включеннями графіту.

Після відливання гільзи піддають термічній обробці за режимом: відпал при 570-600°C, гартування в маслі від 840° C, відпуск при 200° C (HRC 45-50).

Чавунні гільзи доцільно гартувати з нагріванням струмами високої частоти на спеціальних верстатах безперервно-послідовним способом.

Гільза 1 (рис. 6) встановлюється на столі 2, що обертається.

Верстат має дві позиції, що дозволяє краще використовувати потужність живлячого його машинного генератора (частота 8000-10000 Гц). При гартуванні гільз завдовжки 290 мм і внутрішньому діаметру 125 мм продуктивність верстата становить 60 гільз за годину.

Для високочастотного гартування чавунних гільз застосовуються спеціальні індуктори з магнітопроводом (рис.7).

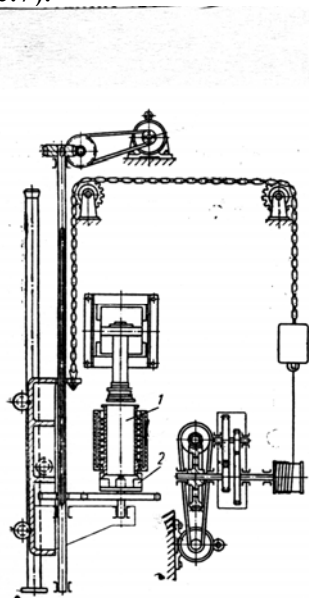


Рисунок 6 – Кінематична схема верстата для поверхневого гартування гільз

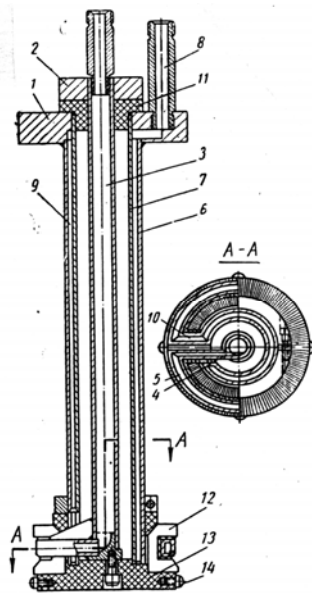


Рисунок 7 - Індуктор для гартування гільз

Зазор між індуктором і поверхнею гільзи, що нагрівається, повинен бути 2-3 мм.

Особливістю гартування гільз з товщиною стінки 6-7 мм на частотах 8000-10000 Гц є додаткове охолодження зовнішньої поверхні гільзи, необхідне для усунення впливу нерівномірності товщини стінки на глибину загартованого шару. Після гартування застосовується відпуск гільз при 200°C (HRC 45-50).

Сталеві гільзи виготовляють із сталі 38ХМЮА, що азотується, піддають гартуванню у підігрітій воді від 920-930°C, відпуску при 620-650°C і після механічної обробки азотизації на глибину 0,5-0,7 мм.

Зовнішню поверхню гільзи оберігають від азотування (покривають рідким склом). Процес азотування гільз дуже тривалий і застосовується рідко.

Шатун. Шатуни виготовляються із сталей 45, 40Р, 40Х, 40ХН2МА, селектувань за вуглецем, і піддаються поліпшенню. Основною вимогою є отримання сорбітової структури без включення фериту. Наявність фериту призводить до поломок деталей від утомленості. Шатун схильний до знакозмінних навантажень, прикладених при 3000 об/хв., тому всякий дефект на його поверхні у вигляді тріщини гартівного або металургійного походження, заштамповуваної окалини і затиску, служить місцем концентрації напружень, що призводить до поломки від утомленості (рис. 8). Треба проводити приймання шатунів після травлення, оглядаючи небезпечні місця у верхній головці і хвості за допомогою лупи. Доцільно після механічної обробки надавати кожен шатун магнітному контролю.

Шатуни найчастіше виготовляють із сталей 40ХН2МА, 40Р, 40ХФА з подальшим гартуванням з 840-860⁰С в масло і відпуском при 570-600⁰С HRC 38-42.

4.2 Коробка передач. З деталей коробки передач, що піддаються термічній обробці, слід звернути увагу на шестерні. Інші деталі (стержні, вилки перемикання передач, головки) не становлять інтересу, тому що оскільки в експлуатації вони не випробовують значних напружень, поломка їх або знос спостерігається рідко.

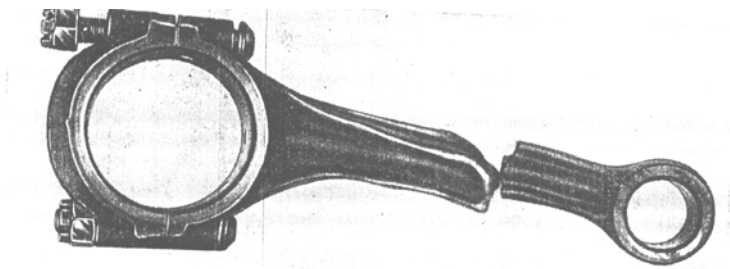


Рисунок 8 – Поломка шатуна від утомленості

Шестерні коробки передач найбільш схильні до зносу і поломки внаслідок великих питомих напружень на робочій поверхні зубів.

За характером роботи шестерні поділяються на дві групи: **постійного зачеплення і змінного включення**.

Перші працюють тільки при **згинаючих зусиллях**, а другі у момент включення **випробовують удар в торець зуба**, хоча для пом'якшення сили удару в більшості конструкцій коробок передач є синхронізатори.

Залежно від характеру напруження відбуваються два види руйнування шестерень: відскоку і продавлювання зміцненого шару, що спричиняє втомне руйнування зуба. Випадки поломки з вириванням зубів пов'язані або з випадковим заклинюванням стороннім предметом, або надмірним перенапруженням, викликаним подоланням перешкоди під час руху автомобіля.

Сколення торців зубів неминуче за всіх умов, але не однаковою мірою. Максимальне руйнування торців зубів зі сколювання відбувається у тому випадку, коли торець виготовлений неправильно, без заокруглення, і на його поверхні є грані.

Торці руйнуються, коли твердість серцевини зуба недостатня, що характеризується наявністю в структурі фериту. **Наявність цементитної сітки і великих включень карбідів по кутах торцевої частини зуба** також спричиняє поломку.

Для забезпечення тривалої роботи зубів шестерень змінного включення їх необхідно виготовляти з середньовуглецевої сталі 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 18ХГТ, 25ХГНМТ, 20Х2Н4А, 12Х2Н4А та ін. і піддавати цементації або ціануванню.

Структура цементованого шару зуба повинна складатися з дрібногочастого відпущеного мартенситу з дисперсними включеннями карбідів, рівномірно розподіленими в металевій масі, структура серцевини – з сорбіту або троостомартенситу.

Глибина шару, виміряна на відпаленому шліфі до появи фериту, повинна знаходитися в межах 0,5-0,8 мм, зайва глибина пов'язана з перенасиченням поверхні вуглецем, що спричиняє утворення цементитної сітки, скупчення карбідів і утворення при гартуванні залишкового аустеніту. Крім того, при збільшенні глибини шару створюється небезпека утворення мікротріщин в перехідному шарі, що приводить до втомного руйнування. Надлишок залишкового аустеніту спричиняє пітингоутворення на робочих поверхнях зубів (рис. 9), тому що під впливом великих навантажень аустеніт перетворюється на крихкий мартенсит, що спричиняє до утворення мікроскопічних тріщин, концентрацію напружень за місцем їх виникнення і руйнування поверхні зубів від утомленості.

Низька або знижена концентрація вуглецю в цементованому шарі характеризується твердістю загартованої поверхні $HRC < 56$ і троостомартенситною структурою.

Поверхня шестерень з середньовуглецевої сталі, загартованих після короткочасного нагріву і соляних ванн, що містять ціанисті солі, повинна мати ціанований шар завглибшки 0,25-0,35 мм, що відрізняється високою твердістю ($HRC < 60$ і вище).

Таким чином, цементовані і ціановані шестерні повинні задовольняти вимоги технічних умов за твердістю шару і серцевини і мати строго регламентовану структуру.

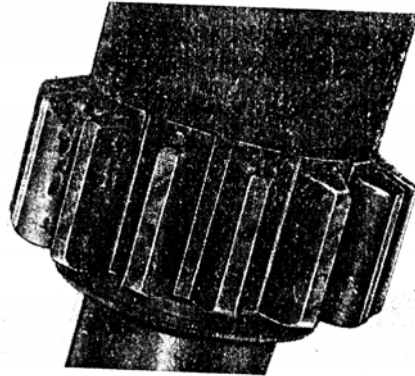


Рисунок 9 – Пітинги на робочій поверхні зубів

Глибина зміцненого шару не регламентована і встановлюється емпірично. Можна допустити збільшення глибини шару до 0,2 мм понад встановлену кресленням, якщо відсутні цементитна сітка і крупні включення карбідів. Серцевина повинна мати твердість $HRC = 35-45$; поверхня $HRC \geq 58$.

4.3 Головна передача – задній міст. Основними деталями головної передачі також є шестерні. Шестерні головної передачі і редуктора легкових і вантажних автомобілів виготовляються з цементованої сталі.

Всі вимоги, які ставляться технічними умовами до якості шестерень коробки передач, поширюються і на шестерні головної передачі і редуктора. **Глибина цементованого шару повинна бути декілька більше, оскільки питомий тиск на робочу поверхню зубів цих шестерень вищий, ніж шестерень коробки передач;** але зайве збільшення глибини цементованого шару призводить до його втомного руйнування.

Особливо необхідно звертати увагу на наявність в структурі залишкового аустеніту понад допустиму кількість. Ця кількість практично відповідає такому, при якому твердість поверхні після гартування і відпуску більше

HRC = 60. При надлишку залишкового аустеніту може настати пітингоутворення і руйнування зуба.

Отже, твердість шестерень головної передачі і редуктора повинна бути на 2 одиниці за Роквеллом вище твердості шестерень коробки передач.

У разі особливо навантажених шестерень в технічних умовах слід передбачати після цементації, гартування і відпуску обробку холодом при температурі мінус 40 – мінус 60⁰, щоб зменшити вміст у структурі залишкового аустеніту.

4.4 Деталі шасі. Поворотні і рульові важелі, поворотні кулаки, кронштейни і півосі піддаються знакозмінним навантаженням. Тому дані деталі повинні мати необхідну втомну міцність і мати по всьому перетину сорбіт або троостосорбітну структуру без включень фериту. У разі приймання деталей не тільки за твердістю, але і за механічними властивостями, необхідно сформулювати вимоги на приймання по межі текучості, оскільки при однаковій твердості сталь може мати різну межу текучості, якщо вона нагріта під гартування нижче точки Ас₃, тобто отримує неповне гартування. За наявності фериту у структурі деталь зламається від утомленості. Деталі шасі виготовляють із сталей 45, 40P, 40XM після термополіпшення на сорбіт або троостосорбіт.

Щоб підвищити термін служби, ці деталі необхідно піддавати зміцненню дробом в місцях концентрації напружень.

4.5 Рама і поперечина. Ці деталі працюють в дуже складних умовах; відчувають розтягування, стиснення і кручення, а також удари.

Лонжерони і поперечки автомобільних рам виготовляються із спеціальної нормалізованої сталі. Якість цих деталей визначається межею текучості сталі.

Для лонжеронів автомобілів сталь повинна мати межу текучості не нижче 400 МПа. Необхідно вимагати поставку сталі за зернистістю. Розмір зерна повинен бути № 7-8. Ця

вимога спричиняється необхідністю мати підвищену в'язкість металу для запобігання утворенню тріщин в місцях прикладення знакозмінних навантажень.

4.6 Черв'як рульового механізму, кульові пальці рульової тяги і шворні. Ці деталі є дуже відповідальними.

Всі вони відчувають знакозмінні навантаження, пов'язані з ударними діями, і схильні до зносу.

Черв'яки (рис. 10) і кульові пальці виготовляються з поліпшувальної і цементованої сталі марок 40Х, 37ХН3А, 40ХГТ, 12ХНЗ, 12Х2Н4А і 18ХГТ. Деталі з поліпшувальної сталі проходять попередню термічну обробку для підвищенню міцності серцевини, а потім піддаються гартування при нагріві СВЧ або ціануються і відпускаються. В цьому випадку повинна контролюватися твердість серцевини і поверхні. Твердість серцевини контролюється за зразком з партії оброблених пальців.

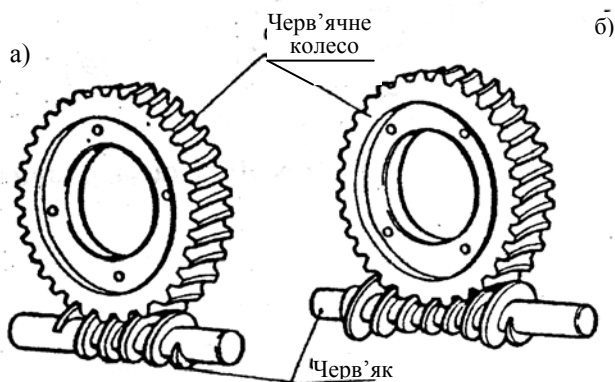


Рисунок 10 – Черв'як

Шворні виготовляють з цементованої легированої сталі, щоб забезпечити максимально високу в'язкість серцевини для виключення поломок при ударі.

У структурі цементованого шару не повинно бути цементитної сітки і крупних включень карбідів.

4.7 Передня вісь. Вимоги до якості цієї дуже навантаженої деталі зводяться до того, щоб вона мала належні механічні властивості у результаті такого поліпшення. Переважно виготовляють її з легованої сталі або вуглецевої з гарантійною прогартовуваністю і гартуванням СВЧ, що дає можливість зменшити її вагу.

Передня вісь не повинна мати на поверхні слідів удару, закручувань і інших недоліків, тому що в цих місцях концентруються напруження, і відбувається поломка в результаті утомленості. На рис. 11 зображений злам передньої осі вантажного автомобіля, що відбувся внаслідок вм'ятини на кромці балки, отриманої від удару.



Рисунок 11 – Злам передньої осі внаслідок утомленості

4.8 Нормалі – болти, гвинти, гайки, пальці. Більшість цих деталей виготовляється з поліпшувальної вуглецевої або легованої сталей.

Основна вимога до їх якості полягає в тому, щоб структура по всьому перетину була троостосорбітна або сорбіт незалежно від необхідної твердості.

Цементовані або ціановані нормалі, переважно пальці, повинні мати твердість поверхні HRC = 58-62 і серцевини HRC = 35-45.

Деякі пальці, як, наприклад, ресорні, виготовляються з цементованої сталі або сталі 45 з гартуванням СВЧ.

Інші деталі. До інших термічно оброблюваних деталей належать гальмівний кулак, вінець маховика, деталі амортизації і різні вали. Переважно ці деталі виготовляються із сталі 45 із вмістом 0,43-0,47% вуглецю і піддаються індук-

ційному нагріву для отримання зносостійкої поверхні. У технічних умовах на ці деталі передбачена твердість загартованої поверхні не менше $HRC = 58$.

4.9 Термічна обробка півосей

Півосі (рис. 12) призначені для передачі крутного моменту і є важконавантаженими і відповідальними деталями; вони повинні мати високу статичну і втомну міцність, а також зносостійкість шліцьового кінця.

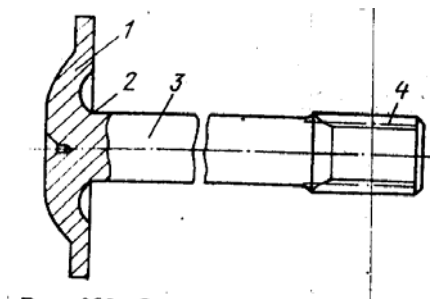


Рисунок 12 – Схема півосі вантажних автомобілів:

1 – фланець; 2 – гальтель фланця; 3 – стержнева частина; 4 – шліцьовий кінець

В основному використовують два методи зміцнення півосей:

1 Півосі виготовляють з легованих середньовуглецевих сталей марок 40ХГРТ, 35ХГС, 38ХГСА, 35Х2ГСМА й ін. і **піддають об'ємному поліпшенню** на твердість HRC 35-40. У деяких випадках фланець додатково відпускають для отримання твердості HRC 25-30 при індукційному нагріві.

У зв'язку із значною деформацією при гартуванні, частину операцій остаточної механічної обробки (точіння стержня, нарізка шліц, свердлення отворів та ін.) виконують вже після поліпшення і правки деталей. Підвищена твердість поліпшеної сталі суттєво затрудняє механічну обробку. Крім того, відсутність залишкових стискуючих напружень в поверхневих шарах стержня, що типове для кризно-

го зміцнення, знижує міцність півосей. Цей варіант в основному застосовують при невеликому об'ємі виробництва деталей.

2 При масовому виробництві в більшості випадків півосі виготовляють з вуглецевих і низьколегованих сталей марок 35, 40, 45, 47ГТ і **зміцнюють поверхневим або об'ємно-поверхневим гартуванням при індукційному нагріванні**. Для масивних півосей вантажних автомобілів з діаметром стержня більше 35 мм об'ємно-поверхнєве гартування забезпечує найвищу конструктивну міцність валів.

При зміцненні півосей необхідно, щоб поверхневий загартований шар охоплював також і галтель на переході від стержня до фланця, інакше в цій зоні може відбутися втомне руйнування.

Поверхнєве зміцнення півосей при індукційному нагріві можна виконувати за схемами як одночасного, так і безперервно-послідовного гартування.

Індукційний нагрів галтелі викликає певні труднощі, які вирішуються застосуванням індукторів спеціальної конструкції з електромагнітним витісненням поля на галтель (рис. 13). Індуктор складається з двох послідовно сполучених витків. Робоча частина нижнього витка максимально наближена до галтелі і забезпечена спреєром.

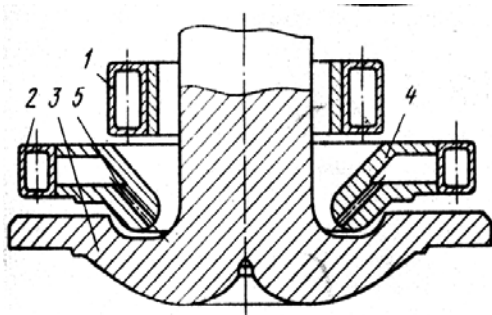


Рисунок 13 – Схема індуктора для гартування півосі:
1 – верхній виток; 2 – нижній виток; 3 – фланець півосі; 4 – спреєрна частина; 5 – отвори

При гартуванні півосей з отворами для запобігання утворенню тріщин на кромках отвору до них подається стисле повітря.

Впровадження об'ємно-поверхневого гартування півосей замість поліпшення на рядові автомобільних заводів дозволило відмовитися від застосування легованих сталей (40ХГРТ, 38ХГСА), підвищити статичну і втомну міцність півосей при одночасному зменшенні на 2-3 мм діаметра стрижньової частини.

На деяких заводах для півосей застосовують ще один прийом запобігання деформації при гартуванні – докладення до деталі в процесі нагріву розтягуючого зусилля, що створює напругу порядку 15-30 МПа.

4.10 Термічна обробка хрестовин карданних передач

Хрестовини карданних передач (рис. 14) передають крутний момент, від двигуна до півосей і повинні мати поєднання високої статичної, динамічної і втомної міцності з високою контактною міцністю шпильок, що служать внутрішньою поверхнею голчастого підшипника. Хрестовини виготовляють з легованих цементованих сталей марок 20Х, 18ХГТ, 15ХГНТА, 20ХГНТР і піддають газовій цементації або нітроцементації (у безмуфельних агрегатах) на глибину 0,8-1,5 мм, гартування з охолодженням у маслі і низькотемпературному відпуску. Поверхнева твердість і ефективна товщина зміцнюючого шару (з твердістю не менше НV 550-570) повинна бути достатньою для запобігання зносу на шпильках і запобігання втомним полумкам в галтелі біля кореня шпильок.

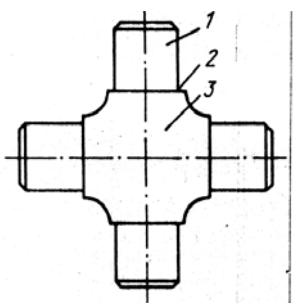


Рисунок 14 – Хрестовина карданного вала:

- 1 – шпильки; 2 – галтель біля кореня шпильки;
- 3 – тіло хрестовини

Розроблений і впроваджений новий ефективніший і економічніший процес зміцнення хрестовин на основі використання об'ємно-поверхневого гартування з переривистим самовідпуском. Хрестовини виготовляють із сталі 58 (55ПП) і піддають крізному рівномірному індукційному нагріву до 830-850⁰С. Охолодження при гартуванні здійснюється в окремому пристрої потоком води, що подається в зазор між внутрішньою порожниною охолоджуючого пристрою і поверхнею хрестовини. Час охолодження ~ 2,8 с для хрестовин вибрано так, щоб забезпечити протікання самовідпуску. З огляду на те, що маса тіла хрестовини (а відповідно і запас тепла в ній) суттєво більша за масу кожної з шпильок на твердість HRC 52-58, а ближче до торця (у місцях контакту шпильок з голками, де потрібна висока контактна міцність) зберігається твердість HRC 60-65.

У результаті такої термічної обробки по всьому периметру деталі виходить загартований шар завглибшки 1,5-2,5 мм із структурою мартенситу в зоні контакту шпильок з голками і структурою троостомартенситу у галтелі шпильок. Твердість серцевини шпильок становить HRC 30-35. Залишкові напруження стиснення в загартованому шарі досягають 300-400 МПа.

Результати випробувань і досвід експлуатації таких хрестовин підтвердили їх високу працездатність. При впровадженні нового процесу різко скоротилася тривалість термічної обробки (до 3 хв. замість 12-15 год.), покращали умови праці і знизилася собівартість виготовлення деталей.

4.11 Термічна обробка картерів ведучих мостів

Картери є штамповарною конструкцією (рис. 15), що складається з двох штампованих півбалок і цапф, з'єднаних зварюванням.

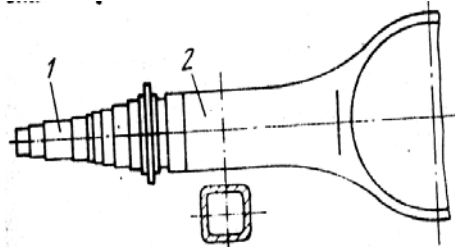


Рисунок 15 – Ескіз картера ведучого моста вантажного автомобіля: 1 - цапфа; 2 – балка

Для забезпечення необхідної високої статичної і втомної міцності балки картерів виготовляють з листових середньовуглецевих сталей марок 35, 40 з товщиною близько 10 мм. Складна форма півбалок змушує застосовувати для малопластичних середньовуглецевих сталей гаряче штампування. Після зварювання картери піддають місцевій нормалізації зварного шва (при індукційному нагріві) і подальшій об'ємній термічній обробці – поліпшенню (гартування 930⁰С в масло, відпуск при 540⁰С). Найбільш небезпечні перетини піддають дробоструминній обробці. Процес дуже трудомісткий і при масовому виробництві вимагає громіздкого складного термічного устаткування і великих виробничих площ.

Для виготовлення балок використовуються низьковуглецеві сталі, у т.ч. сталь 12ГС, що дозволяють здійснити штампування в холодному стані. У зв'язку з малим вмістом вуглецю сталі дуже технологічні при зварюванні.

Визначені найбільш навантажені ділянки картерів, якими виявилися зони балок на деякій відстані від цапф і до переходу до великого перетину картера, і розроблена технологія місцевого зміцнення цих зон шляхом гартування при крізному індукційному нагріві.

У автоматичних установках навантажені зони нагріваються до 930⁰С протягом 70 с в багатовитковому соленоїдному індукторі, що має конфігурацію профілю картера в зоні гартування (при частоті струму 2,5 кГц). Охолоджу-

вання при гартуванні здійснюється швидкорухомим потоком води, що подається в зазор шириною 10 мм між зовнішніми стінками картера і внутрішніми стінками рознімною охолоджуючої камери.

Унаслідок низького вмісту вуглецю сталь 12ГС після гартування досить пластична, що дозволило виключити відпуск.

Балки виготовляють із сталі 17ГС шляхом гарячого штампування. Зони поблизу поперечного перетину стикового зварного шва піддають нормалізації при місцевому індукційному нагріві до 1050°C протягом 3 хв.

У картерах, що працюють в найважчих умовах (у дво-вісних автомобілях), нижні полиці балок і примикаючі до них ділянки бокових стінок заввишки 10 мм на довжині 250 мм від зони стикового шва у бік розширення балки додатково піддають гартуванню з нагрівом у багатовитковому індукторі до $950\text{-}1100^{\circ}\text{C}$ протягом 2,5 хв. і охолодженням потоком води. Внаслідок більшого питомого об'єму мартенситу в загартованих (найбільш навантажених) нижніх полицях балки створюються залишкові стискуючі напруги. Розтягуючі напруги, що виникають при цьому на бокових стінках, не небезпечні зважаючи на меншу навантаженість цих зон при експлуатації.

Для того щоб зберегти сприятливі напруження при відпуску і навіть навести додаткові залишкові напруження стиснення, в нижніх загартованих полицях використовують місцевий індукційний нагрів вузьких зон бокових полиць до температури 1100°C . Подальше після припинення нагріву вирівнювання температури забезпечує відпуск загартованих нижніх полиць приблизно при 350°C . У результаті в нижній полиці і прилеглих до неї кутах створюються стискуючі напруги 30-140 МПа, що забезпечує високу втомну міцність і довговічність картерів.

4.12 Термічна обробка пружних елементів автомобіля

До пружних елементів автомобіля відносять ресори і пружини, термічна обробка яких в більшості випадків здійснюється в єдиному потоці механоскладального виробництва. При цьому темп термічної обробки строго синхронізований з обробкою різанням і збиранням і визначає технологічний процес термічної обробки, тип агрегатів і їх число.

Для ресорного виробництва застосовують дві технологічні схеми. Одна пов'язана з типом збіраної ресори; в цьому випадку прохідний агрегат термічної обробки ресор включає гартівний барабан, що забезпечує укладання всього комплекту листів даної ресори. Друга схема передбачає «полистову» обробку, тут переважає пакетний гартівний пристрій.

У обох технологічних схемах необхідний нагрів під гартування в захисній атмосфері, а після відпуску прискорене охолодження у воді. Останнє особливо важливе для товстолистових ресор із сталей 50ХГА, 60ХГС і ін., схильних до відпускнуї крихкості.

Перед складанням листи піддають наклепу сталевим дробом (діаметр дробини 0,8-1,1 мм) з двох боків або з одного боку.

Режими термічної обробки ресорних листів з найпоширеніших сталей наведені в табл.3.

Виробництво пружин залежно від способу і навівання (гаряче, тепле, холодне) визначає вихідний стан матеріалу і режим подальшої термічної обробки.

Важконавантажені пружини перетином 3-5 мм (пружини клапана, гальмівної апаратури та ін.) виготовляють з дроту 1-го класу по ГОСТ 9389-75 (або додатковими технічними умовами) і після холодного навівання піддають відпуску в соляних ваннах в інтервалі температур 230-330⁰С залежно від сталі і необхідних властивостей. При цьому для пружин одного типу коливання температури

можуть бути не вищими $\pm 10^0\text{C}$. Пружини цього виду слід піддавати магнітно-люмінесцентному або магнітно-порошковому контролю на наявність поверхневих дефектів. Найбільш бажаний 100% контроль таких пружин.

Пружини перетином 6-12 мм із сталей 60С2, 60С2А, 65С2ВА, що піддаються холодному навиванню, звичайно виготовляють з дроту з певною вихідною структурою і твердістю. Кращі технологічні властивості забезпечує структура дрібнозернистого перліту з НВ 180-250 і величиною знеуглецьованого шару на поверхні дроту $\leq 0,1$ мм. Для найвідповідальніших пружин цієї групи (наприклад, пружин зчеплення) рекомендується повторне гартування в захисній атмосфері (переважно в соляних ваннах) з подальшим відпуском (див. табл. 3).

Пружини буксирних пристроїв, приладової техніки, допоміжні пружини насосів, карбюраторів, кузовів і причепів виготовляють із сталей 60, 65Г, 70Г, 55С2 і аналогічних їм і піддають термічній обробці після навивання за режимами, наведеними в табл.3. Вимоги за властивостями, конфігурацією і розмірами цих пружин звичайно менш жорсткі, ніж вимоги, що ставляться до розглянутих вище пружин. Проте і в цьому випадку надто важливий захист поверхні від знеуглецювання при високотемпературних нагрівах, а також відсутність на поверхні металургійних дефектів.

До пружинних елементів автомобілів звичайно відносять всі види бамперів, драбин і хомутів, торсіони капотів і торсіони перекидання кабін, ряд кронштейнів, підкладок та інші деталі. У табл.3 наведені тільки основні технологічні параметри термічної обробки подібних типових деталей. Режими ізотермічного гартування деяких видів стопорних кілець, пружинних шайб або спеціальних скоб наведені в табл. 3.

Слід, проте, відзначити, що при виготовленні торсіонів відповідального призначення важливе проведення заневолування їх і маркування правого і лівого боків.

Таблиця 3 – Термічна обробка пружних елементів автомобілів

Деталь	Марка сталі	Розмір і профіль прокату, мм	Термічна обробка			Твердість	Примітка
			Режим гартування		Температуру відпуску*, °С		
			оптимальна температура нагріву, °С	середовище охолодження			
1	2	3	4	5	6	7	8
Пружини гальмівної системи, кільця упорні	Дріт пружинний, 1-й клас, ГОСТ 9389-75	Діаметр до 3,5	-	-	240±10 330±10	-	Відпуск в селітровій електрованні
Пружини гальмівної системи, кільця упорні	12Х18Н9Ш	Діаметр до 5,5	-	-	190±10	-	Відпуск в шахтній електропечі
Пружини зчеплення	65Г	Діаметр 4,5	-	-	390±10	-	Дріт, 1-й клас, ГОСТ 1071-67
	65С2ВА	Діаметр 8,0	850±10	Масло	480±10	HRC 42-48	Нагрівання під гартування і відпуск в соляних ваннах
Пружини поздовжньої рульової тяги	65Г	Діаметр 7,5	820±10	Масло	390±10	HRC 42-48	Те саме
Пружини буксирного приладу	70Г	Квадрат 16	880±20	Масло	500±10	HRC 38-45	-
Пружини підвіски автомобіля «Москвич»	60С2	Діаметр 15	880±20	Масло у пресі	500±10	HRC 45-49	-
Пружини	50ХГФА	Діаметр 15-16	900±10	Масло	450±10	HRC 44-48	-

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Бампери	60C2	Смуга 7-140 8x160	900±20	Масло	430±10	2,8-3,0 (діаметр відбитку, мм)	Твердість вимірюється на приладі Брінелль при навантаженні 3000 кгс кулькою Ø 10 мм
Накладки ресорних листів	60C2	Смуга 8x63	910±10	Масло	390±10	HRC 50-62	-
Ресорні листи вантажних автомобілів	55C2 60C2 60XГC	Смуга прямокутна або Т-подібна, товщина 6-18 мм, ширина 65-90 мм	920-970	Масло 60-800С, гнучко-гартівний штамп	500-560	HB 363-444	Твердість вимірюється на приладі Брінеля кулькою Ø 10 мм при навантаженні 3000 кгс
	50XГА	Смуга прямокутна і параболічна, товщина 6 мм, ширина до 45 мм	860±10	Те саме	550±50	HB 363-415	
Ресорні листи легкового автомобіля	50XГФА	Смуга 9x75	870±10	Те саме	610±10	HB 388-444	
Штанга реактивна	50XГФА	Товщина до 7,0 мм	850±10	Масло	520±20	HRC 40-47	Нагрівання під гартування в соляній ванні
Торсіон капота легкового автомобіля	45ХН2МФА	Ø 28,0	870±10	Масло	300-350	HRC 50-54	-
Торсіон перекидання кабіни вантажного автомобіля	45ХН2МФА	Ø32,0	870±10	Масло у пресі	460±10	HRC 46-50	-

* Охолодження після відпуску у воді. Виняток становлять пружини із сталі 12Х18Н9Ш, які охолоджують на повітрі, і торсіони із сталі 45ХН2МФА, охолоджувані в маслі

Деякі пружини автомобіля, працюючі в агресивних середовищах (пружини гальмівної апаратури), виготовляють з аустенітних корозійностійких сталей. Ці пружини звичайно піддають тільки низькому відпуску для зняття напружень (табл. 3).

Оскільки пружинні матеріали поставляються в більшості за технічних умов, дуже важливий вхідний контроль металу, що забезпечує оцінку якості, коригування режиму виготовлення і термічної обробки деталей для кожної партії металу, бунту або бухти. Замість складної і тривалої металографії аналізу можна піддавати метод визначення розсіяння енергії при динамічних випробуваннях простих зразків на вигин або кручення. Простота приладової техніки і тривалість аналізу ≤ 5 хв. дозволяють надійно використовувати цей метод у виробництві.

5 ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

5.1 Вивчити теоретичну частину роботи.

5.2 Отримати індивідуальне завдання на термічну обробку однієї деталі автомобіля.

5.3 Вибрати марку сталі для виготовлення даної деталі, підготувати зразки вказаної марки сталі для зміцнюючої термічної обробки.

5.4 Розробити технологічну карту термічної обробки даної деталі.

5.5 За розробленим технологічним режимом обробити зразки вибраної марки сталі.

5.6 Після кожного виду (у т.ч. проміжного) термічної обробки описати мікроструктуру і дослідити твердість або мікротвердість.

5.7 Скласти протокол досліджень.

5.8 Захистити роботу тестовим контролем.

Примітки:

1 Студент працює індивідуально.

2 За лабораторну роботу студент отримує три оцінки: **одну** - за розробку технологічної карти; **другу** - за дослідження мікроструктури; **третю** - за тестовий контроль теорії.

6 ПИТАННЯ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ

6.1 Які сталі переважно застосовуються для цементованих деталей автомобіля?

6.2 Яка експлуатаційна твердість поршнів, виготовлених із сталі 18ХГТ?

6.3 Яку зміцнюючу термічну обробку можна рекомендувати для шестерень ведучих мостів легкового автомобіля?

6.4 З яких матеріалів рекомендується виготовляти черв'яки силових вузлів автомобіля?

6.5 Зубчасті колеса ведучих мостів легкових автомобілів виготовляють із сталі 19ХГН з такою зміцнюючою термообробкою...

6.6 Сталі 15ХГН2ТА, 20ХГН2ТА в автомобілебудуванні використовуються для виготовлення... ведучих мостів і роздавальних коробок вантажних автомобілів.

6.7 Із сталей 65С2ВА, 65Г виготовляють... елементи автомобіля.

6.8 Бампери виготовляють із сталей...

6.9 Технологічний процес зміцнення ресорних листів полягає в такому...

6.10 Торсіонний вал перекидання автомобіля виготовляється на таку експлуатаційну твердість НРС...

6.11 Чи можна проводити гартування шийок колінвалів, використовуючи СВЧ...

6.12 З яких сталей і сплавів рекомендується виготовляти колінвали легкових автомобілів?

6.13 Яка деталь виготовляється із сталі «селект» за вуглицем з регламентованою величиною зерна і трьома значеннями експлуатаційної твердості?

6.14 Яка деталь автомобіля гартується після наскрізного нагрівання СВЧ з двома дозованими охолодженнями і регламентованою паузою?

6.15 Назвіть режим термічної обробки картера провідного моста?

6.16 Температура гартування більшості ресорних сталей 850-880⁰С, а температура відпуску...

6.17 Як практично обчислюється час нагрівання при температурі гартування пружини діаметром 30 мм завдовжки 120 мм, діаметр дроту 8 мм.

6.18 Яка рекомендована твердість головки випускного клапана і кінця його стержня?

6.19 При якій температурі працює головка випускного і впускного клапанів?

6.20 Які експлуатаційні властивості підвищуються при алітуванні головок клапанів двигунів внутрішнього згорання?

6.21 Які сталі використовують при виготовленні випускних клапанів ДВЗ; клапанів впускань ДВЗ?

6.22 Клапани двигунів внутрішнього згорання виготовляють переважно...

6.23 Навіщо перед алітуванням клапани ДВЗ офлюсують?

6.24 Назвіть температуру гартування сталі 4X10C2M.

6.25 Колінвали можна виготовляти з чавуну. Яку металеву основу ви виберете, щоб отримати на шатунних шийках HRC 60-62?

6.26 Для того, щоб отримати твердість H_c 1100-1200 на циліндрах двигуна внутрішнього згорання, необхідно його виготовити із сталі ... з подальшим ...

6.27 Чи можна проводити гартування з нагрівом СВЧ внутрішньої поверхні циліндрів двигунів внутрішнього згорання?

6.28 Гільзи циліндрів ДВЗ можна виготовляти з чавуну з ... металевою основою.

6.29 Навіщо індуктор для гартування струмами високої частоти оснащується магнітопроводом?

6.30 При цементації шестерень коробок передач автомобіля рекомендується використовувати як карбюризатор цементуючий газ такого складу ...

6.31 Гільзи циліндрів ДВЗ, виготовлені з легованих перлітових чавунів, рекомендується нагрівати під гартування з використанням струмів високої частоти.

6.32 Картери мостів вантажних автомобілів виготовляють із сталей ...

6.33 Кульові пальці рульового управління зміцнюють з нагрівом СВЧ до твердості HRC ...

6.34 Півосі заднього моста вантажного автомобіля рекомендується виготовляти із сталі 47ГТ.

6.35 Які сталі, використовувані в автомобільному машинобудуванні, зберігають 7-8 бал зерна при нагріві до температури 970-1000⁰С, у т.ч. при цементації.

6.36 Поясніть, яким чином можна загартувати тонкі шліцьові вали завдовжки до 1000 мм на твердість HRC_≥60.

6.37 Золотники перепускні гідропідсилювачів виготовляють із сталі 45. Назвіть термічну обробку для золотників на максимальну твердість.

6.38 Зубчасті муфти виготовляються із сталей 50ХМ, 50ХНМ. Назвіть термічну обробку муфт на максимальну твердість.

6.39 Коромисла клапанів двигунів внутрішнього згорання рекомендується зміцнювати на глибину 2-3 мм, при виготовленні їх із сталі 50ПП поясніть термічну обробку їх на максимальну твердість.

6.40 Вилки перемикання швидкостей виготовляються із сталей 20, 20Х і гартуються на глибину 0,2-0,3 мм. Поясніть термічну обробку вилок на максимальну твердість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лахтин Ю.М., Рахштадт А.Г. Термическая обработка в машиностроении: Справочник. –М.: Машиностроение, 1980. -783 с.

2. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов. –М.: Машгиз, 1962. -428 с.

3. Асонов А.Д. Технология термической обработки деталей автомобиля. –М.; 1978.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ (АБО ОДЗ) З КУРСУ «ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ЗМІЦНЕННЯ І АСУ ТП»

Загальні вимоги до змісту контрольної роботи

Контрольна робота виконується на папері формату 210x297 із заголовним листом. Обсяг роботи ~15-20 сторінок.

Зміст роботи повинен бути викладений з таких розділів:

1 Вступ. Стисло (1,5-1,0 стор.) описати матеріали, що застосовуються для виготовлення деталі вашого завдання.

Користуючись додатковою літературою («Деталі машин», «Технологія машинобудування», «Верстати і інструменти», «Технологія виробництва гідравлічних машин», «Електротехнічні матеріали» та ін.), описати **призначення і умови роботи деталі** (1,5-2,0 стор.).

2 Визначити і **обґрунтувати вибір технічних вимог щодо** властивостей готової деталі: твердість і мікроструктуру поверхні і серцевини деталі; товщину загартованого або дифузійного шару, межу міцності, ударну в'язкість та ін.

3 Вибрати матеріал не менше 2-3 марок сталі для виготовлення заданої деталі. Подати в таблицях хімічний склад і механічні властивості сталей; вплив легуючих елементів на властивості – в графіках з подальшими короткими поясненнями. Виходячи з умов експлуатації і технічних вимог, обґрунтувати економічну доцільність вибору матеріалу.

4 Вибрати режими термічної і (або) хіміко-термічної обробки, які забезпечують необхідні властивості виробу з урахуванням умов його експлуатації.

Обґрунтувати вибір термічних операцій, описати вплив нагріву і охолодження на перетворення, на фазовий склад, величину зерна і властивості. Розробити технологічну карту термічної обробки сталі.

№ 1

Ведуча вісь візка крана діаметром 70 завдовжки 120 мм виготовлена із сталі Ст.5. При реконструкції крана для збільшення його вантажопідйомності потрібен, не змінюючи діаметра ведучої осі, замінити матеріал осі на сталь з межею міцності в 1,5 раза вищим, ніж сталь 45. Підберіть дві марки легованих сталей для заміни: одну із вмістом вуглецю до 0,2%, другу до 0,5%. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у Ваших сталях при нагріві і охолодженні. Зробіть порівняльний аналіз результатів по двох вказаних марках.

N 2

Завод повинен виготовити три вали для швидкохідного редуктора. Вали повинні мати межу міцності не менше 400 МПа, 750 МПа і 900 МПа відповідно. Перший вал має діаметр 35, довжину 450 мм, другий - 50, довжину 400 мм, а третій - 120, довжину 650 мм. Вибрати сталі для виготовлення трьох валів. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у Ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 3

Завод верстатобудування виготовляє шпинделі токарних верстатів. Вибрати сталі для шпинделів діаметром 40 і 75 мм, завдовжки 1,2 і 1,5 м, забезпечивши межу міцності шпинделів, відповідно 700-750 і 900-950 МПа і твердість поверхневого шару на глибину 3 мм - HRC 62-64. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 4

У процесі експлуатації руйнувався вал статора гідротурбіни. У місці руйнування видно скупчення мікрораковин; на поверхні лопатей - кавітаційний знос. Дослідження показали, що статор виготовлений із сталі 25Л, межа міцності 250 МПа. Проведений розрахунок на міцність показав, що матеріал пови-

нен мати межу міцності не нижче 450 МПа. Встановити причини поломки статора і виконати всі вимоги до змісту роботи згідно із пп.1-5, забезпечивши твердість поверхні поверхневого шару вала HV 900. Розміри вала статора: діаметр - 35 мм, довжина - 350 мм. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 5

Напрявні станини верстатів виготовляють з чавуну. В процесі експлуатації виявили, що напрямні низької зносостійкості. Підібрати марки чавуну і сталі для виготовлення напрямних, забезпечуючі високу зносостійкість і незмінність геометричних параметрів. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Розміри напрямних 30x15x150 мм.

N 6

На кондитерському комбінаті на пресозагортувальній машині ІЗМ-1 зруйнувався вал редуктора високошвидкісної передачі діаметром 40 мм, завдовжки 550 мм. У зоні руйнування є видимим дрібнокристалічний бархатистий злам на весь перетин вала; твердість по перетину - HRC 63-65. Встановити можливі причини поломки валу і виконати всі вимоги до змісту роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 7

Завод виготовляє шпинделі шліфувальних верстатів, що працюють в умовах зносу і забезпечують високу точність обробки. Вибрати дві марки сталі для виготовлення шпинделів і виконати всі вимоги до змісту роботи згідно із пп.1-5, забезпечивши бездеформаційну обробку. Видати рекомендації заводу щодо вибору раціональної марки сталі. Розміри шпинделів: діаметр 70 мм, довжина 120 мм. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 8

Завод виготовляє колінчасті вали до легкового автомобіля з діаметром шийки 45 мм. Довжина колінвала 850 мм. Сталь в готовому виробі повинна мати межу текучості не нижче 400 МПа і ударну в'язкість не нижче 500 Кдж/м². Крім того, вал повинен мати високу зносостійкість не по всій поверхні, а тільки в шийках, тобто в ділянках, зв'язаних з підшипниками і таких, що працюють на стирання. Підібрати марки сплаву для виготовлення колінвалів і виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 9

На хлібокомбінаті відбулася поломка вала редуктора тестоподільної машини ХДФ діаметром 70 мм і довжиною 800 мм. Проведений розрахунок показав, що межа міцності матеріалу повинна бути не нижчим 350 МПа, ударна в'язкість - не нижче 700 Кдж/м². Дослідження показали, що вал виготовлений із сталі 70; HRC 60 - 62. У зоні зламу є видимою тріщина на глибину 3 мм. Мікроструктура - великогочастий мартенсит. Встановити причини поломки вала і виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 10

Завод виготовляє черв'ячні колеса діаметром 150 мм, завдовжки 600 мм з сірого чавуну з межею міцності 150 МПа без зміцнюючої термічної обробки. Виникла необхідність у виготовленні коліс із міцністю 630 МПа і твердістю поверхні HRC 58-62. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 11

Колінчастий вал двигуна вантажного автомобіля економічно виготовляти з сірого чавуну - матеріалу, малочутливого до надрізу і добре гасильного вібрації. Найбільший діаметр шийки колінчастого вала 50 мм, довжина 1500 мм. Вибрати марки чавуну з межею міцності не нижче 600 МПа, відносним подовженням 2-3%. Описати, як отримують такий чавун. Забезпечити підвищену зносостійкість шийок вала і твердість HRC 60-62.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 12

На заводі виготовляли вали двигунів внутрішнього згорання діаметром 25 мм, завдовжки 500 мм із сталі з межею міцності 400-450 МПа і відносним подовженням 10-15%. Надалі було отримане замовлення на виготовлення валів для міцніших двигунів; забезпечити межу міцності 800 МПа і ударну в'язкість не нижче 800 Кдж/м². Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 13

На молокозаводі вийшов з ладу вертикальний ступінчастий вал сепаратора Г9-ОЦМ-5 діаметром 60 мм максимального і 25 мм мінімального перетину, довжина 450 мм; частота обертання валу - 5000 об/хв.

Дослідження зони зламу по галтелі показали, що мікроструктура вала - дрібногочастий мартенсит з безліччю дрібних тріщин. Гартування наскрізне. Встановити можливі причини поломки вала і утворення тріщин; виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 14

У результаті поломки вийшов з ладу колінчастий вал вакуум-насоса. Діаметр шийок вала 50 мм. Злам мав волоконну будову, форма і розміри зерен сильно спотворені. Вал виготовлений із сталі 45, НРС 40-45. Встановити можливі причини поломки вала; виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 15

У результаті втомного руйнування вийшов з ладу шток компресора великої холодопродуктивності АТ-1200. Максимальний діаметр штока 90 мм, мінімальний 40 мм, довжина 840 мм. Описати можливі причини руйнування штока.

Підібрати марки сталі для виготовлення штока, забезпечуючи межу міцності готової деталі 800 МПа, твердість шийок штока по діаметру 40 мм HRC 48-50, по діаметру 90 мм HRC 62-64. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 16

Пальці шарнірів траків гусениць трактора діаметром 20 мм, завдовжки 140 мм працюють на згин і зріз; крім того, повинні мати високу зносостійкість поверхні і високий опір крихкому руйнуванню в серцевині.

Виходячи зі сказаного, виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 17

Стакани циліндрів діаметром 80 мм, заввишки 180 мм міцніших моторів повинні мати особливо підвищену зносостійкість на робочій поверхні, твердість HV 1000-1200 і високі механічні властивості в серцевині з межею текучості не менше 750 МПа.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 18

Лопатки шириною 300 мм, завтовшки 50 мм і завдовжки 2500 мм реактивних і турбореактивних двигунів працюють в окиснювальному середовищі при високих температурах (до 800-900°C). Сплави, з яких виготовляють ці деталі, повинні мати підвищену корозійну стійкість (окалиностійкість), високий опір повзучості, тривалу міцність при високих температурах. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 19

У результаті втрати геометричних параметрів вийшов з ладу ексцентриковий вал машини К6-ФОК2. Діаметр вала 18 мм, довжина 760 мм. Дослідження показали, що мікроструктура поверхневого шару вала - дрібногочастий мартенсит, 30-50% залишкового аустеніту плюс карбіди. Вал виготовлений із сталі 18ХНВА з подальшою цементацією; HRC 52-56. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 20

Від гідротурбін, що працюють на гірських річках з великим вмістом абразивних частинок, потрібна висока зносостійкість і кавітаційна стійкість. З урахуванням сказаного призначити марку сталі для виготовлення вала гідротурбіни із зовнішнім діаметром 800 мм, внутрішнім 600 мм, завдовжки 3000 мм. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 21

У відцентровому насосі, що перекачує радіоактивну рідину при температурі 150оС, руйнувався вал. Мікродослідження встановили наявність міжкристалітної корозії. Відомо, що при вмісті в сталі нікелю близько 40%, сталь не піддається міжкристалітній корозії. Але нікель здорожує сталь. З урахуванням сказаного підібрати для виготовлення вала марку сплаву. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Розміри вала: діаметр 60 мм, довжина 350 мм.

№ 22

Деталі гідронасосів, зокрема клапани, виготовляли із сталі 40Х. Однак надалі в нових могутніших насосах, в яких швидкість руху потоку рідини різко зросла, поверхня клапанів із сталі 40Х швидко руйнувалася. Пояснити причини руйнування кла-

панів і які явища цьому сприяють. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Розміри клапанів: діаметр 18 мм, довжина 140 мм.

№ 23

Деталі холодильних машин щоб уникнути крихкого руйнування, виготовляють із сталей і сплавів із зниженим порогом холодноламкості і відповідно підвищеною в'язкістю при низьких температурах. Рекомендувати склад сталей для деталей холодильних машин, що працюють при температурах: до -70°C і до -259°C (у середовищі рідкого водню). Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 24

Завод виготовляє вали стартерів двигунів діаметром 25 мм, завдовжки 270 мм із сталі 40ХН. Необхідні механічні властивості деталей: межа міцності - 900 МПа, відносне подовження - 10%, ударна в'язкість - 600 Кдж/м². Підберіть дві марки сталі, які можна використовувати для виготовлення вказаних валів і які в своєму складі не містять дорогого нікелю. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 25

Блоки циліндрів двигунів трактора виготовляють з сірого чавуну з твердістю НВ 170-241. У процесі експлуатації на внутрішній поверхні циліндрів утворюються задирки. Вибрати марки матеріалів для виготовлення циліндрів, забезпечуючу нормальну експлуатацію, підвищену зносостійкість і окалиностійкість, оскільки циліндри нагріваються в роботі до $500-600^{\circ}\text{C}$. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 26

Відповідальні деталі ходової системи гусеничних тракторів, таких як опорні катки, ведучі і напрямні колеса, ланки гусениць, пальці і втулки гусениць у процесі експлуатації піддаються гідроабразивному зносу. Виконати пп.1-4 завдання з урахуванням умов експлуатації.

N 27

Опишіть основи технології термічної обробки і особливості виробництва великих поковок. Опишіть дефекти зливків і їх вплив на структуру і властивості; вплив гарячої пластичної деформації на якість великих поковок; вплив хімічної і структурної неоднорідності на механічні і технологічні властивості; вплив кисню на структуру і властивості великих поковок, флокеноутворення. Описати технологію термічної обробки поковок і її призначення.

N 28

Рекомендувати склад сталі, спосіб її металургійного переліду для шестерень відповідального призначення в механізмах, що працюють при температурах від -60°C до $+60^{\circ}\text{C}$. Межа текучості повинна бути не нижче 750-800 МПа. Пояснити, які чинники сприяють пониженню порогу холодноламкості. Розміри шестерень: діаметр 280 мм, ширина вінця 80 мм. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 29

Гребені гвинти морських суден працюють в дуже складних умовах: випробовують напруження згину, кручення, схильні до абразивного і кавітаційному зносу і корозії від морської води. З урахуванням умов експлуатації гребних гвинтів виконати пункти 1-4 завдання.

№ 30

У процесі експлуатації ламався трансмісійний вал діаметром 45 мм, завдовжки 850 мм. Дослідження показали, що твердість вала по перетину HRC 52-58, мікроструктура - відпущений мартенсит; на зламі є видимими мікротріщини, краї яких знеуглецьовані і окиснені. Матеріал - сталь 50. Визначити можливі причини виходу з ладу вала.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Опишіть всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 31

Хрестовини карданних передач передають крутний момент від двигуна до півосі і повинні мати поєднання високої статичної, динамічної і втомної міцності з високою контактною міцністю шпильок, що служать внутрішньою поверхнею голчастого підшипника. Підібрати 2-3 марки сталі для виготовлення хрестовини, забезпечити твердість поверхні HV 550-600; серцевини HRC 30-35.

№ 32

Деякі посудини і апарати з корозійностійких сталей використовуються для зберігання отруйних матеріалів, які спричиняють корозійне розтріскування (розчини їдкого натрію, калію, азотнокислих солей натрію, калію, кальцію, амонію та ін.). Виконати пункти завдання з 1 по 4 і забезпечити максимальні експлуатаційні властивості.

№ 33

Для виготовлення партії прямозубих коліс зовнішнім діаметром 180 мм, шириною вінця 40 мм запропоновані сталі 45 і 18ХНВА7. Міцність готової деталі повинна бути 750 МПа, твердість 58-62HRC. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Дати рекомендації конструктору, якщо відомо, що число обертів шестерні за хвилину при експлуатації 7600. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 34

Півосі вантажних автомобілів призначені для передачі крутного моменту і є важковантаженими і відповідальними; вони повинні мати високу статичну і втомну міцність, а також високою зносостійкістю шліців. Виконати пункти завдання з 1 по 4 і забезпечити твердість півосей HRC 35-40; твердість шліців HRC 50-54.

N 35

При експлуатації в результаті поломки зуба вийшов з ладу вал-шестерня дзиги К6-ФВ3П. Діаметр шестерні 98 мм, модуль 5 мм, діаметр вала 35 мм, довжина 304 мм. Дослідження показали: твердість поверхні по зубу шестерні HRC 62-65, серцевини вала HRC 28-32. Мікроструктура по зубу - великогочастий мартенсит майже по всьому перетину. Визначити можливі причини виходу з ладу вала-шестерні. Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 36

У коробці швидкостей координатно-розточувального верстата у результаті зміни геометричних параметрів вийшла з ладу шестерня високошвидкісної передачі. Діаметр шестерні 120 мм, ширина вінця 20 мм. При дослідженні виявилася в мікроструктурі зуба шестерні велика кількість карбонітридів і до 30% залишкового аустеніту. Твердість серцевини шестерні HRC 28-32. Визначити можливі причини зміни геометричних параметрів шестерні. Виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5, забезпечивши постійність геометричних параметрів шестерні з часом і твердість HV 1000-1200. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

N 37

Блок циліндрів аксіально-поршневого насоса, виготовлений із сталі 18ХНВА з подальшою нітроцементациєю, вийшов з ладу внаслідок зміни геометричних параметрів. У процесі експлуа-

тації відбулося заклинювання поршня, в циліндрі утворилися "задирки". Дослідженнями встановлено в дифузійному шарі близько 50% залишкового аустеніту плюс крупні карбонітриди. Карбідним і хімічним аналізом карбіду визначено в поверхневих фільтрах до 7% азоту. Встановити можливі причини виходу з ладу циліндрів і способи їх усунення. Виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5.

Розміри циліндра: діаметр 120 мм, висота 180 мм.

Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 38

Для виготовлення анкерних болтів двоступеневого бескрейцкопфного компресора вибрана сталь Ст 08КП. У процесі експлуатації компресора декілька болтів виявилися зрізаючими.

Виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Розміри болта: діаметр 25 мм, довжина 300 мм. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 39

Зростання потужності енергоагрегатів веде до збільшення розмірів роторів, підвищення вимог до якості металу і рівня механічних властивостей. Суцільнокатані і зварюковані ротори турбін і генераторів працюють в дуже складних напружених умовах, їх виготовляють з високолегованих сталей, застосовуючи при цьому складну термічну обробку. Описати термічну обробку суцільнокатованих і зварюкованих роторів і зобразити у вигляді графіків температура-час.

№ 40

Для виготовлення пружин завод застосовує сталь 60С2ХА з термообробкою на твердість HRC 40-44. Однак пружини із сталі при нагріві в області кліматичних температур змінюють свої характеристики у зв'язку із зміною модуля пружності. Це знижує точність роботи приладів.

Рекомендувати сплави для виготовлення пружин, модулі пружності яких майже не змінюються при температурах від

-50°C до +100°C. Порівняти режими термічної обробки вибраних сплавів і сталі 60С2ХА.

Виконати всі вимоги до контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

Розміри пружини: діаметр дроту 8 мм, діаметр витка 65 мм, висота пружини 160 мм.

№ 41

Описати термічну обробку інструментальних сталей. Структурні особливості, карбідні та інтерметалідні фази у відпаленому стані. Шляхи зменшення карбідної неоднорідності; особливості обробки для усунення великої зернистості, попередження утворення флокенів. Усі види термічної обробки подати у вигляді графіків температура-час.

№ 42

Щоки дробильної машини (щічного млина) для дроблення мідної руди працюють в умовах підвищеного зносу, супроводжуваного ударами. Призначити марки сталей для виготовлення щок, рекомендувати найефективніший технологічний процес їх виготовлення. Виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Розміри щок: ширина 160 мм, довжина 350 мм, товщина 35 мм.

№ 43

Опишіть технологію термічної обробки зварних з'єднань виробів із вуглецевих, високолегованих сталей і апаратів хімічного машинобудування. Термічну обробку обґрунтувати і подати у вигляді графіків температура-час.

№ 44

Колінчасті вали суднових двигунів потужністю 2500 л.с., вагою 2,5 т виготовляють куванням з подальшою механічною і термічною обробкою. Вага поковок становить приблизно 6,5 т. Відходи в стружку при механічній обробці становить близько 4,0 т. Перед заводом стоїть задача заміни кованих колінчастих валів литими, причому властивості готових виробів повинні

бути: межа міцності 550 МПа, відносне подовження 1,5%, KCV 150 кДж/м², твердість НВ 215-260.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 45

Лемеші плугів виготовляли із сталевого прокату сталі 35. Дослідження показали, що для цієї мети можна використувати литво, у якого межа міцності 500 МПа, відносне подовження 1,5%, твердість неробочої поверхні HRC 35-40, робочої HRC \geq 50.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Вага одного лемеша 15 кг.

№ 46

Завод виготовляє шестерні \varnothing 230, висотою вінця 60 мм, з модулем 5-7 і товщиною зуба близько 10 мм із сталі 12Х2Н3А. Для отримання необхідної зносостійкості шестерні цементують і гартують. Твердість поверхні зуба повинна бути HRC 58-62.

Які менш дефіцитні сталі можна рекомендувати для виготовлення шестерні із заданою твердістю на глибині 0,8-1,0 мм, щоб деталь мала межу текучості \geq 800 МПа, ударну в'язкість 700 кДж/м². Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 47

Голки форсунок і деталі розпилювачів повинні мати мінімальний знос у процесі роботи, що визначає якість розпилювання при спалюванні. Які сталі можна використовувати для їх виготовлення і який вид обробки деталей забезпечує необхідні властивості?

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Визначитися з розмірами деталей.

№ 48

При переробці насіння соняшнику на масло в зерній камері шнек-преса діаметром 50 мм, завдовжки 36 мм зерний ніж діаметром 100 мм, завтовшки 25 мм після 3 місяців роботи піддався значному лінійному зносу до 7 мм. Ніж виготовлений з маловуглецевої сталі, легованої хромом, і підданий цементації на глибину 1,0 мм; загартований на HRC 55-62.

Проаналізувати причини такого великого зносу, беручи до уваги те, що в соняшниковій олії наявні в значній кількості сильні поверхнево-активні кислоти (пальмітинова, олеїнова, стеаринова, лінолева), що викликає хіміко-механічне зношування.

Призначити марки сталей (з урахуванням вищевикладеного) для виготовлення нової партії деталей і зміцнюючу термічну або хіміко-термічну обробку.

Виконайте всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно із пп.1-5. Опишіть всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні.

№ 49

Описати технологію термічної обробки деталей ґрунтообробних машин: лемешів, лап культиваторів, ножів подрібнювачів кормів, сегментів різальних апаратів сінокосарок та ін.

Виконати пункти 1-4 завдання з урахуванням умов їх експлуатації. Процеси термічної обробки подати у вигляді графіків температура-час.

№ 50

Клапанні пружини компресорів виготовляються з пружинної сталі 50ХФА шляхом холодного навивання з подальшою відповідною термообробкою. Чи можна застосувати для виготовлення названої пружини такі марки сталей: 45, 40ХН, 65Г, 60С2, 18ХНВА? Якщо не можна, то чому?

Виконати всі вимоги до змісту контрольної роботи згідно пп.1-5 для сталей, що забезпечують нормальну експлуатацію пружин. Описати всі перетворення, що відбуваються у ваших сталях при нагріві і охолодженні. Вага пружини 120 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. -М.: Машгиз, 1958. -431 с.
2. Самохоцкий А.И. Технология термической обработки металлов. -М.: Машгиз, 1962. -427 с.
3. Ассонов А.Д. Технология термической обработки деталей автомобиля. -М.: Машгиз, 1958. -464 с.
4. Фогель А.А. Промышленное применение токов высокой частоты. -М.: Машиностроение, 1965. -75 с.
5. Термическая обработка в машиностроении: Справочник /Под ред. Ю.М.Лахтина, А.Г.Рахштадта. -М.: Машиностроение, 1980. - 783 с.
6. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Сакей А.Г. Технология термической обработки. -М.: Metallurgy, 1986. -424 с.
7. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. - М.: Машиностроение, 1980. -527 с.
8. Гладин В.Т., Гринбеог Б.Г., Никонов В.Я. Технология металлов и других конструкционных материалов. -М.: Высшая школа, 1970. -704 с.
9. Солнцев Ю.П., Веселов В.А. и др. Металловедение и технология металлов. -М.: Metallurgy, 1988. - 510 с.
10. Иванов В.В., Бобиков Н.Ф., Дубов Н.Ф. Повышение долговечности ходовой системы тракторов /Сб. «Тракторы и сельхозмашины». -М.: Машиностроение, 1984.
11. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. -М.: Машиностроение, 1981. -264 с.

Навчальне видання

Сігова Валентина Іванівна,
Руденко Лідія Федорівна

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
ЗМІЩЕННЯ ТА АСУ ТП**
(лабораторні роботи, завдання до
контрольних робіт і ІДЗ)

Навчальний посібник

Дизайн обкладинки Б.Л.Мякішева
Редактор Н.А.Гавриленко, Н.В. Лисогуб
Комп'ютерне верстання В.Д. Вінницької

Підп. до друку 20.05.2008.

Формат 60x84/16. Папір ксероксний Гарнітура Times New Roman Суг.

Друк офс.

Ум. друк. арк. 11,4. Обл.-вид.арк. 8,53.

Тираж 100 пр. Вид. № 269.

Зам. № .

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті

40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного
реєстру ДК № 3062 від 17.12.2007.

Надруковано у друкарні СумДУ

40007, Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.