

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інженерно-фізичний факультет
(повне найменування факультету)

Кафедра «Фізичне матеріалознавство»
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

бакалавра
(ступінь вищої освіти)

на тему Обґрунтування технології термічної обробки тіл кочення вальниць
виготовлених з корозійностійких сталей
(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи ІФ-211

Спеціальності 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Прикладне матеріалознавство

СЕРЦОВ Микита Сергійович
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ЛИСИЦЯ Олена Володимирівна
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент СОТНІКОВ Євген Георгійович
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Інженерно-фізичний
Кафедра Фізичне матеріалознавство
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Прикладне матеріалознавство
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Вадим ОЛЬШАНЕЦЬКИЙ

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

СЕРЦОВ Микита Сергійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Обґрунтування технології термічної обробки тіл кочення вальниць виготовлених з корозійностійких сталей.

керівник проєкту (роботи) ст.викладач ЛИСИЦЯ Олена Володимирівна,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 16 » травня 2024 року №228

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Ескіз вальниці, НРС 50-64

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

1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу.
2. Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення.
3. Характеристика матеріалів виробів.
4. Розробка режимів і технологій термічної обробки.
5. Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів.
6. Спеціальна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 4 слайди

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5, 7	ЛИСИЦЯ О.В., ст. викладач		
6	НЕСТЕРОВ О.В., доцент, к.т.н.		
н/к			

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу		
2	Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення		
3	Характеристика матеріалів виробів		
4	Розробка режимів і технологій термічної обробки		
5	Технічний контроль, попередження та виправлення дефектів		
6	Безпека життєдіяльності фахівця та охорона праці		
7	Спеціальна частина		

Студент(ка) _____

(підпис)

Микита СЕРЦОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи) _____

Олена ЛИСИЦЯ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 стор., 18 рис., 8 табл., 12 джерел.

ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, КОРОЗІЙНОСТІЙКІ СТАЛІ, ВАЛЬНИЦІ

Мета роботи – Обґрунтування технології термічної обробки тіл кочення вальниць виготовлених з корозійностійких сталей. Дослідження впливу хрому на структуроутворення та механічні властивостей сталей.

Описано характеристика та умови експлуатації виробів, а також вимоги до матеріалу. Розроблена маршрутна технологія виготовлення виробів. Зважаючи на технологічні вимоги було обґрунтовано вибір матеріалів для виробу. Описано характеристика обраного матеріала. Описаний технічний контроль, попередження і виправлення дефектів. Розроблено техніку безпеки на виробництві.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу.....	12
1.1. Основні дефекти що виникають при експлуатації.....	17
1.1.1 Вм'ятини.....	17
1.1.2 Зношування.....	18
1.1.3 Поверхневі руйнування.....	21
2. Номенклатура виробів і маршрутна технологія їх виготовлення.....	24
2.1 Номенклатура виробів.....	24
2.2 Маршрутна технологія виготовлення тіл кочення вольниць.....	24
3. Характеристика матеріалів виробів.....	27
4. Розробка режимів і технологій термічної обробки.....	33
5. Технологічний контроль, попередження та виправлення дефектів.....	43
5.1 Технічний контроль.....	43
5.2 Контроль технологічних процесів.....	44
6. Безпека життєдіяльності фахівця та охорона праці.....	47
6.1 Аналіз потенційних небезпек.....	47
6.2 Заходи забезпечення безпеки.....	48
7. Спеціальна частина.....	56
7.1 Вплив хрому на фазовий склад.....	56
7.2 Вплив хрому на структуру утворення.....	57
7.3 Вплив хрому на механічні властивості	62
Висновки.....	66
Перелік джерел посилань.....	67

Додаток А Ескіз вальниці, номенклатура, хімічний склад та властивості сталей.....	69
Додаток Б Графік та технологічна карта термічної обробки роликів вальниці зі сталі 95X18.....	71
Додаток В Дефекти термічної обробки.....	74
Додаток Г Вплив хрому на структуроутворення та механічні властивості сталей 40X13 та 95X18.....	76

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

HRC - твердість за Роквелом;

$\sigma_T, \sigma_{0,2}$ - границя плинності;

σ_B - границя міцності;

δ_5 - відносне видовження;

ψ - відносне звуження;

A_3, A_4 - температура поліморфного перетворення заліза;

$A_{зал}$ - аустеніт залишковий;

K, C - карбіди;

F - ферит.

ВСТУП

Вальниці є достатньо затребувані майже в усіх сферах діяльності починаючи від годинників та побутових приладів до промислових габаритних машин. Тому для надійної роботи машини до вальниць висуваються вимоги до розмірної точності, відповідності шорсткості, термічній обробці та хімічному складу та тривалості роботи. Для збільшення тривалості експлуатації вальниць та меншому виходу їх з ладу використовують різні способи покращення роботи вальниць, досліджуються причини руйнування вальниць та можливості їх вирішення.

Термічна обробка (ТО) сталі є дуже важливим завершальним процесом у виробництві деталей та інструментів. Вона надає необхідних механічних властивостей і забезпечує належну експлуатацію. Основними факторами, що впливають на результат термічної обробки, є швидкість і температура нагріву, час витримки в нагрітому стані і швидкість охолодження. Залежно від температури нагріву і швидкості охолодження, основними видами термічної обробки є відпал, гартування і відпуск.

Мета відпалу сталі - зменшити її твердість, підвищити в'язкість, досягти хімічної та структурної однорідності і зняти внутрішні напруження. При відпалі 2 типу сталь нагрівають вище критичної точки, витримують при температурі нагріву, а потім повільно охолоджують (зазвичай у печі).

Гартування - це процес, під час якого сталь нагрівають на 30...50°C вище точки A_{c1} або A_{cm} , витримують при цій температурі, а потім швидко охолоджують. Ця обробка зазвичай призводить до утворення в сталі мартенситної структури, при цьому твердість і міцність досягають максимальних значень.

Нагрівання під час гартування необхідне для зміни мікроструктури сталі до аустенітного стану, а швидке охолодження - для запобігання розпаду

аустеніту на ферито-цементитну суміш (троостит, сорбіт) і охолодження до температури аустенітно-мартенситного перетворення.

Чим більший розмір продукту, складніша його форма та хімічний склад, тим повільніший процес нагрівання. В іншому випадку в продукті можуть виникнути високі внутрішні напруження, що призведе до зминання і навіть розтріскування.

Швидкість охолодження є вирішальним фактором у процесі гартування, оскільки вона визначає характер мікроструктури сталі, що формується під час гартування.

Швидкість охолодження сталі при гартуванні визначається охолоджувальною здатністю гартівного середовища (найчастіше це вода або мінеральна олива).

Відпуск сталі проводиться для зменшення внутрішніх напружень і твердості, а також для підвищення ударної в'язкості загартованих виробів. Залежно від температури нагріву розрізняють три види відпуску: низький, середній і високий. Низький відпуск характеризується нагріванням в діапазоні температур 150...250°C, витримкою при цій температурі і подальшим охолодженням на повітрі, в результаті чого утворюється загартована мартенситна структура. Внутрішні напруження у виробі зменшуються, в'язкість дещо підвищується, зникає відпускна крихкість, але твердість залишається практично незмінною. Низький відпуск використовується для різальних і вимірювальних інструментів, які потребують високої твердості, не є крихкими і вимагають високої зносостійкості.

Середньотемпературний відпуск: сталь нагрівають до температури 350...450°C, витримують при цій температурі, а потім охолоджують, зазвичай на повітрі. Цей процес відпуску перетворює мартенсит троостит, знижуючи твердість сталі приблизно до 400 НВ і значно підвищуючи її в'язкість. Цей відпуск використовується для обробки виробів, які працюють при помірних ударних навантаженнях, таких як пружини, ресори і пресформи.

Високотемпературний відпуск здійснюється при температурі від 500 до 650 °С з подальшим охолодженням на повітрі. Сталь набуває структури загартованого сорбіту, а внутрішні напруження повністю знімаються. Після високотемпературного відпуску сталь має високу міцність, пластичність, в'язкість і достатню твердість. Конструкційні, вуглецеві та леговані сталі піддають високому відпуску для виробництва валів, зубчастих коліс тощо. Утворення загартованих сольватів з великим розміром зерна призводить до того, що загартовані сталі мають високі механічні властивості. Відпуск після гартування називається модифікуванням сталі.

Холодна обробка використовується для зміцнення деталей (наприклад, вимірювальних інструментів, підшипників), виготовлених з високовуглецевих і легованих сталей. Перехід від залишкового аустеніту до мартенситу прискорюється, в результаті чого деталі та інструменти стають твердішими. Розміри деталей залишаються незмінними під час холодної обробки, що важливо для виробництва точних вимірювальних інструментів. Холодну обробку необхідно проводити відразу після загартування.

Вальницева промисловість – одна з найбільш розвинутих в технологічному відношенні, в ній сконцентровані останні досягнення в технології металообробки та автоматизації виробництва. Випускаються різноманітні вальниці масою від 0,04 т до 130 т і діаметром внутрішнього кільця від 0,6 мм до 12 м, витримувати навантаження порядку декількох тисяч кілоньютонів, працювати при температурах, близьких до абсолютного нуля, в умовах підвищеної радіації, хімічної активності та забруднення оточуючого середовища.

Відомо три класи вальниць кочення: вальниці з рідинним та консистентним (пластичним) змащуванням, вальниці з твердою мастильною речовиною, вальниці із самозмащувальним матеріалом.

Сьогодні ведучими світовими фірмами вальницевого виробництва є SKF (Швеція), FAG (Німеччина), Timken (США). Три заводи з виробництва вальниць розташовані в Україні (Харків, Вінниця, Луцьк).

Важко назвати сучасний механізм, машину чи прилад, де б не використовувалися вальниці кочення. Однак найбільшого поширення вальниці кочення набули в сільськогосподарському машинобудуванні (630 типорозмірів), автомобілебудуванні (більше 500 типорозмірів), залізничному транспорті (110 типорозмірів). У мініатюрних опорах (годинники, дрібні прилади), а також у величезних енергетичних об'єктах (водяні і парові турбіни, турбогенератори) вальниці кочення поступаються вальницям ковзання.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИРОБІВ, ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ

Ескіз підшипника кочення наведено на рис.1.1. Вальниця кочення переважно складається з зовнішнього та внутрішнього кілець, тіл кочення і сепаратора. Деякі вальниці бувають і без сепаратора. Відносно обертання внутрішнього кільця відносно зовнішнього забезпечується за рахунок тіл кочення між кільцями.

Також існують насипні вальниці, що складаються із сепаратора і вставлених в нього кульок, які можна витягувати.

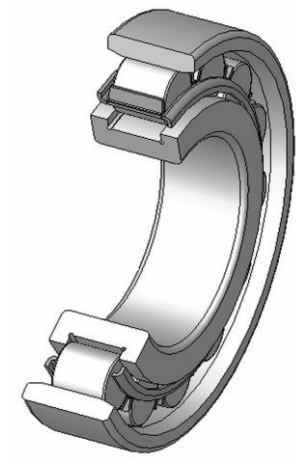


Рисунок 1.1 - Радіальна роликова вальниця [1]

У деяких вузлах машин з метою зменшення габаритів, а також підвищення точності і жорсткості застосовують так звані суміщені опори: доріжки кочення при цьому виконують безпосередньо на валу або на поверхні корпусної деталі.

Є вальниці кочення, виготовлені без сепаратора. Такі вальниці мають більше число тіл кочення і більшу вантажопідйомність. Однак граничні частоти обертання вальниць без сепараторів значно нижчі внаслідок підвищених моментів опору обертанню.

У вальниць кочення виникає переважно тертя кочення (присутні лише невеликі втрати на тертя ковзання між сепаратором та тілами кочення), тому в порівнянні з вальницями ковзання знижуються втрати енергії на тертя, і зменшується знос виробу. Закриті вальниці кочення, із захисними кришками, практично не вимагають обслуговування (заміни мастила), відкриті ж навпаки є чутливими до потрапляння сторонніх предметів, що може призвести до швидкого руйнування вальниці.

Вальниці класифікують за формою тіла кочення:

- кулькові;
- з короткими роликами;
- з довгими роликами;
- з витими роликами;
- з конічними роликами;
- з бочкоподібними роликами;
- з голчастими роликами.

За числом рядів кочення:

- однорядні;
- дворядні;
- чотирирядні.

За способом компенсації перекосів вала:

- несамоустановні;
- самоустановні сферичні. Вони допускають перекося кілець до $2^{\circ}\dots 3^{\circ}$, завдяки чому можуть працювати при збільшених деформаціях валів і при неспіввісному розміщенні отворів під вальниці в окремих опорах вала.

За напрямом сприймання навантаження:

- радіальні - сприймають тільки навантаження напрямлене перпендикулярно до осі обертання;
- упорні - сприймають тільки осьове навантаження;
- радіально-упорні;
- упорно-радіальні;

- лінійні. Забезпечують рухливість уздовж осі, обертання навколо осі не нормується або є неможливим. Зустрічаються рейкові, телескопічні або лінійні підшипники валу;

- кулькові гвинтові передачі. Забезпечують сполучення гвинт-гайка за допомогою тіл кочення;

За розмірами з однаковим внутрішнім діаметром:

- за радіальним розміром (5 серій діаметрів): надлегка; особливо легка; легка; середня; важка.

- за шириною (4 серії ширин): особливо вузька; вузька; нормальна широка; особливо широка.

Вальниця по суті це планетарний механізм, в якому головним є сепаратор, функції центральних коліс виконують внутрішнє і зовнішнє кільця, а тіла кочення замінюють сателіти.

Частота обертання сепаратора або частота обертання кульок навколо осі вальниці розраховується за формулою 1.1 [1]:

$$n_c = \frac{n_1}{2} \left(1 - \frac{D_\omega}{d_m} \right), \text{ об/хв} \quad (1.1)$$

де n_1 — частота обертання внутрішнього кільця радіальної кулькової вальниці,

D_ω — діаметр кульки,

$d_m = 0,5(D+d)$ — діаметр окружності, який проходить через осі всіх тіл кочення (кульок або роликів).

Частота обертання кульки відносно сепаратора розраховується за формулою 1.2 [1]:

$$n_{sp} = \frac{n_1}{2} \left(\frac{d_m}{D_\omega} - \frac{D_\omega}{d_m} \right), \text{ об/хв} \quad (1.2)$$

Частота обертання сепаратора при обертанні зовнішнього кільця за формулою 1.3 [1]:

$$n_{c*} = \frac{n_3}{2} \left(1 + \frac{D_\omega}{d_m} \right), \text{ об/хв} \quad (1.3)$$

де n_3 — частота обертання зовнішнього кільця радіальної кулькової вальниці.

Для радіально-упорної вальниці частота обертання розраховується за формулами 1.4 та 1.5 [1]:

$$n_c = \frac{n_1}{2} \left(1 - \frac{D_\omega \cos \alpha}{d_m} \right), \text{ об/хв} \quad (1.4)$$

$$n_{sp} = \frac{n_1}{2} \left(\frac{d_m}{D_\omega} - \frac{D_\omega \cos^2 \alpha}{d_m} \right), \text{ об/хв} \quad (1.5)$$

З наведених співвідношень видно, що при обертанні внутрішнього кільця сепаратор обертається в ту ж сторону. Частота обертання сепаратора залежить від діаметра D_ω кульок при незмінному d_m : при зменшенні D_ω він зростає, а при збільшенні D_ω - зменшується.

Тому різна розмірність кульок в комплекті вальниці є причиною підвищеного зношування та виходу з ладу сепаратора і вальниці загалом.

При обертанні тіл кочення навколо осі вальниці на кожне з них діє відцентрова сила, що додатково навантажує доріжку кочення зовнішнього кільця, яка розраховується за формулою 1.6 [1]:

$$F_c = 0,5 m d_m \omega_c^2, \text{ м/с} \quad (1.6)$$

де m — маса тіла кочення,

ω_c — кутова швидкість сепаратора.

Відцентрові сили призводять до перевантаження вальниці при роботі на підвищеній частоті обертання, до підвищеного тепловиділення (перегрівання вальниці) та прискореного зношування сепаратора. Все це зменшує термін служби вальниці.

Крім того, в опорних вальницях, внаслідок зміни напрямку осі обертання кульок в просторі на них діє гіроскопічний момент, який розраховується за формулою 1.7 [1]:

$$M_r = J\omega_c\omega_{sp}, I \quad (1.7)$$

Гіроскопічний момент також діє, коли в умовах осьового навантаження радіально-упорна кулькова вальниця обертається. Розраховується за формулою 1.8 [1]:

$$M_r = J\omega_c\omega_{sp}\sin\alpha, I \quad (1.8)$$

де $J = \rho \cdot \pi \cdot D_\omega^5/60$ — полярний момент інерції маси кульки;

ρ — густина матеріалу кульки;

ω_{sp} та ω_c — відповідно, кутова швидкість кульки при обертанні навколо своєї осі та навколо осі вала (кутова швидкість сепаратора).

Під дією гіроскопічного моменту кожна кулька отримує додаткове обертання навколо осі. Таке обертання супроводжується зношенням поверхонь кочення, і для запобігання обертання вальницю слід навантажувати такою осьовою силою, щоб за умови $T_f = M_r$, де T_f — момент сил тертя від осьового навантаження на ділянках контакту кульок з кільцями [1].

1.1 Основні дефекти що виникають при експлуатації

1.1.1 Вм'ятини

Вм'ятини на доріжках кочення і елементах кочення вальниць можуть виникати, коли установче зусилля передається на кільце через елементи кочення. Також вони можуть утворюватися якщо роликовий вузол надмірно

навантажений, коли ролик не обертається. Причиною появи вм'ятини може бути потрапляння сторонніх предметів в фрезу.

Вм'ятини, що утворюються внаслідок неправильної установки або надмірного навантаження. Відстань між двома вм'ятинами відповідає відстані між з'єднаними елементами кочення. Вм'ятини на доріжках кочення вальниць утворюються дуже легко, якщо зусилля при монтажі або демонтажі передаються через елементи кочення. Більш схильні до таких пошкоджень сферичні вальниці. Сферичні роликові підшипники мають задири і вм'ятини тільки при більш високих навантаженнях. Вм'ятини також виникають, коли ролик встановлений на валу і в корпусі з надмірним натягом, а також коли внутрішнє кільце надмірно натягнуто на шийку конічного вала.

Причинами таких вм'ятин може бути : прикладання зусилля в процесі установки не до того кільця; внутрішнє кільце занадто сильно притиснуто до конічної ший. При надмірному навантаженні підшипник не буде обертатися. Тому монтажні роботи слід проводити з кільцями вальниць, що кріпляться з натягом, уникати перевантаження або використовувати вальниці з більш високим статичним навантаженням.

Вм'ятини від чужорідних частинок (рис.1.2). Сторонні частинки, наприклад металева стружка, проникаючи всередину роликів, створюють вм'ятини, коли тіло кочення намотує стружку на доріжку кочення. Вм'ятини утворюються не тільки від твердих частинок, але і від частинок паперу і волокнистих волокон. Вм'ятини найчастіше невеликі і розподілені по всій поверхні.

Для запобігання появи вм'ятин слід дотримуватись чистоти під час складання; використовувати чисте мастило; покращити герметичність.

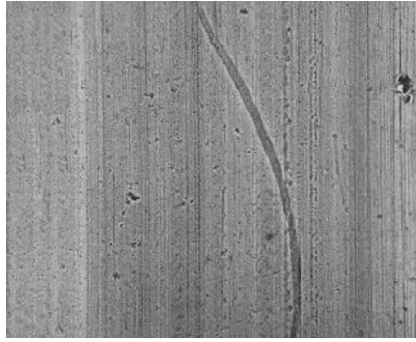


Рисунок 1.2 - Вм'ятини від чужорідних частинок на доріжці кочення [6]

1.1.2 Зношування.

В нормальних умовах експлуатації ролики помітно не зношуються. Зношення відбувається при потраплянні сторонніх предметів в сепаратор або незадовільному змащенні. Це також може бути результатом вібрації ролика, що не обертається.

Зношування під дією абразивних частинок (рис.1.3). Дрібні абразивні частинки, наприклад продукти зношування металу, потрапляючи в ролики, пошкоджують доріжки кочення, елементи кочення і сепаратори. Поверхня кочення стає матовою. Чим більше зношування доріжок кочення і сепараторів тим більша кількість абразивних частинок. Частинки можуть потрапити в підшипник із забрудненим мастилом або під час складання вальниці.

Причини зношування: недостатня чистота до і під час монтажу; погана герметизація; мастило забруднено продуктами зношування. Тому робоче місце та інструменти необхідно утримувати в чистоті; використовувати свіжі та чисті мастильні матеріали; фільтрувати мастило; при необхідності перевірити та замінити ущільнення.

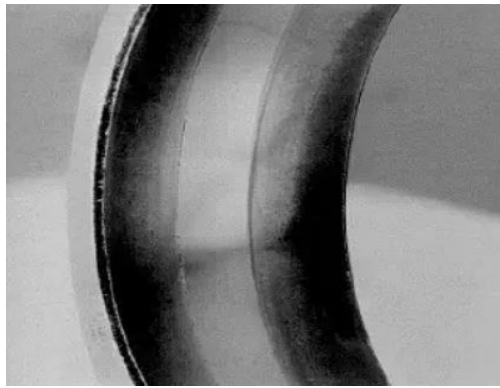


Рисунок 1.3 - Зношення зовнішнього кільця дворядної сферичної вальниці внаслідок дії абразивних частинок (зношені та незношені ділянки різняться) [6]

Зношування внаслідок недостатнього змащування (рис.1.4). Якщо кількості мастильного матеріалу недостатньо, а сам мастильний матеріал втратив свої властивості, то стійкий шар мастильного матеріалу на вальниці не утворюється. Це створює умови для контакту металу між тілами кочення і доріжками кочення та до до значного підвищення температура в місті контакту. Загартована сталь ролика втрачає свою твердість, і на поверхні з'являються "кольори мінливості": синій і коричневий. Що вказує на перегрів вальниці і, як наслідок, зміни структури та зниження твердості. У цьому випадку вальницю може заклинити.

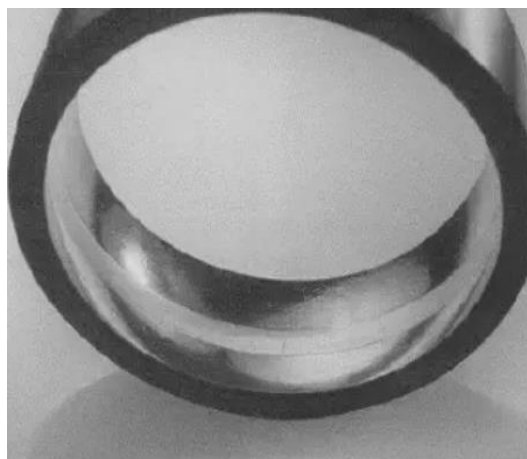


Рисунок 1.4 – Зовнішнє кільце дворядної вальниці після недостатнього змащування. Доріжки кочення виглядають, як відполіровані до дзеркального блиску. [6]

Зношування внаслідок вібрацій. При зупинці ролика між елементами кочення і доріжкою кочення зникає шар мастила і виникає контакт з металом. Вібрації вальниці, що не обертається, викликають відносні малі переміщення між тілами кочення та кільцями вальниці. Під впливом такого процесу з часом на доріжках кочення виникають заглиблення. Це руйнування відоме як "пральна дошка". Кулька утворює отвір, а валик - канавку. Часто корозія виникає в поглибленнях через окислення частинок металів, що відокремлюються, які мають дуже велике відношення поверхні до об'єму. Видимих пошкоджень на тілах кочення немає.

Картина "пральна дошка" чимось схожа на пошкодження, що виникають при проходженні електричного струму через валик, але при проходженні електричного струму дно набуває більш глибокі, темні тони, воно не блищить і не іржавіє. Ролики з пошкодженнями від вібрації найчастіше зустрічаються в машинах, що працюють з перебоями, поруч з ними розташовані генератори вібрації, такі як безперервно працюючі машини, вентилятори, генератори струму і суднові допоміжні машини.

Для запобігання появи цього явища необхідно: під час транспортування закріпити каркас з попереднім радіальним натягом; використовувати антивібраційну прокладку; якщо можливо, то замінити роликову вальницю на кулькову в якості опори для валу; використовувати ванну для змащення.

1.1.3 Поверхневі руйнування

Якщо шар мастила між направляючою і елементом кочення занадто тонкий, вершини шорсткості тимчасово стикаються один з одним. У той же час на поверхні з'являються невеликі тріщини (рис.1.5). Цей процес називається руйнуванням поверхні. Цей вид тріщин не слід плутати з втомними тріщинами, що утворюються в підповерхневому шарі і призводять до утворення втомних

раковин (рис.1.6). У розглянутому процесі поверхневе руйнування спочатку мікроскопічно мало, а потім швидко збільшується, що в кінцевому підсумку перешкоджає плавному обертанню ролика. Описані типи тріщин можуть сприяти утворенню втомних тріщин під поверхнею доріжок кочення, тим самим знижуючи довговічність вальниці. При достатній кількості мастила немає ризику виходу з ладу описаного типу, якщо тільки шар мастила не буде занадто тонким або через зміну в'язкості мастильного матеріалу внаслідок підвищення температури, або через надмірне збільшення навантаження.

Картина явища: первинне пошкодження неможливо виявити неозброєним оком. На наступних стадіях поверхня руйнується, і стають помітні невеликі плоскі поглиблення з руйнуванням кристалів.



Рисунок 1.5 - Руйнування поверхні ролика вальниці [6]

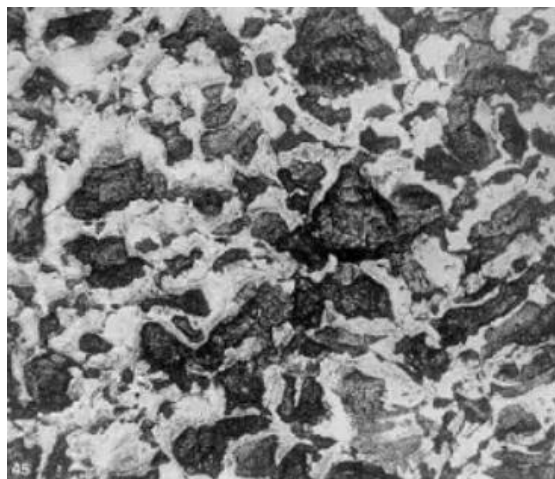


Рисунок 1.6 - Руйнування поверхні ролика, $\times 100$ [6]

Вальнищеві сталі ділять на 2 групи: високовуглецева загартована і низьковуглецева цементована.

Кільця і тіла кочення вальниць загального призначення в основному виготовляють зі сталі 1-ї групи, а саме зі сталі ШХ15. Вальниці великих розмірів ($d \geq 100$ мм) зазвичай виготовляють зі сталей з більшою прогартовуваністю (ШХ15СГ, ШХ20СГ). Конічні вальниці масового виробництва виготовляють з цементованої сталі марок 15Х, 20Х, 18ХГ. Для роботи при високих температурах (до 500°C), в агресивних середовищах кільця і тіла кочення виготовляють з жароміцних і корозійностійких сталей (наприклад, 30Х13, 40Х13, 95Х18). Якість сталі покращують за рахунок зниження вмісту шкідливих домішок в металі - виплаваючи у вакуумних печах, електрошлаковим переплавом. Наприклад, сталь ШХ15-ВД електрошлакового переплаву з наступним вакуумно-дуговим переплавом використовують для відповідальних вальниць, що дозволяє підвищити їхню довговічність у 1,5...2,5 рази.

Зважаючи на складний комплекс напружень, що виникають у металі, вальнищева сталь повинна мати: а) високий опір пластичному деформуванню при значних навантаженнях; б) стійкість до контактнo-втомного руйнування при коченні під навантаженням, що визначає динамічну вантажопідйомність вальниць; в) зносостійкістю; г) достатньою в'язкістю; д) розмірною стабільністю при тривалому зберіганні та експлуатації, що перешкоджає їх "заклиненню" та ослабленню посадкового натягу.

2. НОМЕНКЛАТУРА ВИРОБІВ І МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

2.1 Номенклатура виробів

Номенклатура – це перелік виробів, які обробляються у виробничому відділенні. У відділенні термічної обробки проходять термічну обробку тіла кочення різного призначення. Ескіз деталей наведено на рис. 1.1. У табл. 2.1 наведено номенклатуру оброблюваних деталей:

Таблиця 2.1 - Номенклатура виробів

Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			L_p	r	D_p	
Ролики циліндричні короткі	30X13	0,00075	5,0	0,3	5,0	HRC ≤ 50
		0,00152	10,0	0,3	5,0	HRC ≤ 50
	40X13	0,0021	7,0	0,5	7,0	HRC ≤ 52
		0,0042	14,0	0,5	7,0	HRC ≤ 52
Ролики голчасті	95X18	0,0005	19,8	0,1	2,0	HRC 58...64
		0,0011	19,8	0,1	3,0	HRC 58...64
		0,0020	19,8	0,1	4,0	HRC 58...64
		0,0028	19,8	0,1	5,0	HRC 58...64

Примітка. 1 D_p – діаметр ролика, L_p – довжина ролика, r – радіус заокруглення

2.2 Маршрутна технологія виготовлення тіл кочення вальниць

Технологія виробництва на машинобудівних заводах, в інструментальних і штампових цехах, а також на спеціальних переробних підприємствах - це логічна послідовність технічних операцій, спрямованих на виготовлення високоякісної продукції з відповідними властивостями і характеристиками матеріалу.

Для забезпечення розробки технології виготовлення та термічної обробки виробу необхідно використати дані про основні вимоги до технологічних креслень виробу, форму, розміри, масу та властивості матеріалу. На основі вихідних даних необхідно вирішити одну з основних задач маршрутної технології: вибрати ефективний метод виготовлення (литво, зварювання, гаряча прокатка, кування, штампування) для заготовки виробу та запропонувати вид термічної обробки, який забезпечить необхідні макро- та мікроструктуру і властивості матеріалу.

Маршрутна технологія являє собою рух заготовок по цехах і відділах підприємства і визначає виконувани операції, які можуть повторюватися, але мають різне призначення, режими і забезпечують зміну форми, розмірів, шорсткості поверхні, мікроструктури і властивостей. У розробці маршрутної технології беруть участь фахівці заводу, де обробляється виріб. Вона може включати десятки операцій. У зв'язку з цим в курсі слід розробити спрощену маршрутну технологію, тобто маршрутну технологічну схему. У табл. 2.2 наведено спрощену схему маршрутні технології виготовлення тіл кочення.

Таблиця 2.2 – Схема маршрутної технології виготовлення тіл кочення вальниць

№ п/п	Назва операції	Цех (дільниця) де виконується операція	Призначення операції
1	2	3	4
1	Вхідний контроль	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Контроль хімічного складу та мікроструктури матеріалу на відповідність технологічних умов на постачання
2	Заготівельна	Заготівельний цех або заготівельна дільниця ковальського цеху	Отримання заготовки із прутка
3	Штампування	Ковальський цех	Штамповка тіл кочення з отриманих заготовок

Кінець таблиці 2.2

4	Попередня термічна обробка	Термічне відділення ковальського цеху	Структурна перекристалізація з метою подрібнення зерна, зменшення твердості, підготовки макроструктури до наступної механічної та термічної обробки (відпал)
5	Механічна обробка	Механічний цех	Надання деталям необхідної форми та розмірів
6	Основна термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Надання матеріалу необхідної структури та механічних властивостей в умовах збереження геометричних характеристик, заданих кресленням (гартування + відпускання)
7	Механічна обробка	Механічний цех	Надання необхідної шорсткості поверхні
8	Додаткова термічна обробка	Термічне відділення механічного цеху	Зменшення рівня залишкових напружень, які створені шліфуванням (низькотемпературне відпускання)

3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ВИРОБІВ

В першому розділі було розглянуто умови експлуатації тіл кочення вальниці, враховуючи те що вальниці працюють в умовах корозійного середовища, для їх виготовлення була обрана група корозійностійких сталей 30X13, 40X13, 95X18. Хімічний склад наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Хімічний склад вальницевих корозійностійких сталей (ГОСТ 801-78)

Марка сплаву	Легувальний елемент, % (мас)								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	Ti
					не більше				
30X13	0,26-0,35	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2
40X13	0,36-0,45	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2
95X18	0,9-1,0	≤ 0,8	≤ 0,8	17,0-19,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2

Сталі 30X13, 40X13, 95X18 відносяться до корозійностійких сталей мартенситного класу в нормалізованому стані. Класифікація сталей у відпаленому стані: 30X13 відноситься до евтектоїдного класу (структура П), 40X13 – до заевтектоїдного (структура П+К_{II}), 95X18 – до ледебуритного класу (П+Л+К_{II}).

Основним легувальним елементом є хром. Саме хром у кількості більше 12,5% забезпечує її корозійну стійкість.

При високому вмісті хрому в сталях утворюються спеціальні карбіди. Як видно із рис. 3.1 у сталі 30X13 і 40X13 утворюються карбід Cr₂₃C₆, Cr₇C₃, а в сталі 95X18 – карбід Cr₂₃C₆.

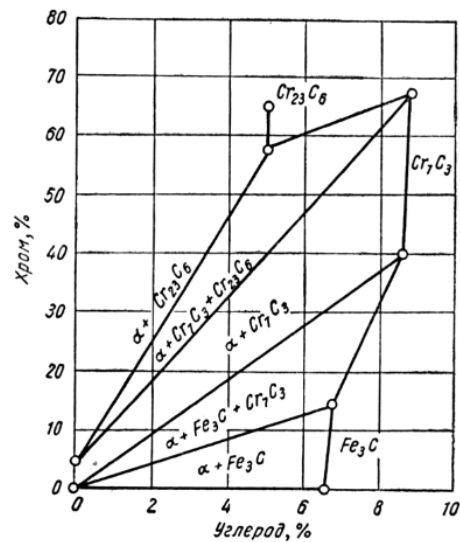


Рисунок 3.1 - Розріз просторової діаграми системи Fe-Cr-C при кімнатній температурі [9]

Хром є феритоутворюючим компонентом, більша частина хрому розчинена у фериті, а частина – в карбідах. Він широко використовується як самостійний легувальний елемент так і в поєднанні з іншими елементами. Його введення сприяє розширенню температурного інтервалу твердіння, підвищує міцність і твердість без зміни параметрів пластичності. Вміст 1% покращує механічні властивості. Коли концентрація хрому збільшується до 5%, підвищується теплостійкість, корозійностійкі та жароміцні сплави можуть містити більшу концентрацію хрому, яка може досягати 28% Cr, та що є основою карбіду $M_{23}C_6$, який при нагріванні до температури гартування повністю розчиняється в аустеніті, підвищуючи прогартуваність сталі. При вмісті 3-4% Cr вторинна твердість сталі незначно підвищується. Недоліком хрому є підвищення неоднорідності карбідів.

Вуглець - невід'ємна частина будь-якої сталі, так як сталь це сплав вуглецю з залізом. Частка вуглецю визначає механічні властивості сталі. Зі збільшенням вмісту вуглецю в сталі підвищуються твердість, міцність і пружність сталі, але знижуються пластичність і ударостійкість, а також оброблюваність і зварюваність.

Кремній - незначний його вміст в складі сталі особливого впливу на її властивості не робить. Зі збільшенням вмісту кремнію значно покращуються пружні властивості, магнітопроникливість, корозійна стійкість і стійкість до окислення при високих температурах. Він мало впливає на схильність до перегріву, збільшує прогартовуваність, підвищує температури критичних точок, підвищує міцність та твердість, знижує пластичність, збільшує схильність до знеуглецювання.

Марганець міститься в сталі в незначній кількості і не має особливого впливу на її властивості. Але він утворює тверду сполуку з залізом, що підвищує твердість і міцність сталі і дещо знижує її пластичність. Марганець зв'язує сірку з сполуками MnS , запобігаючи утворенню шкідливих сполук FeS . Крім того, Марганець розкислює сталь. Сталь із значним вмістом марганцю набуває високої твердості і зносостійкості. Він збільшує схильність до перегріву, підвищує прогартовуваність, знижує температури критичних точок (як аустенітостабілізатор), підвищує твердість і міцність, при вмісті більше 1,5% підвищує схильність до відпускнуї крихкості.

Фосфор може бути використаний в якості одного з легувальних елементів при виробництві вальницьових сталей, оптимальна концентрація фосфору зазвичай становить 0,010...0,030%. При додаванні фосфору може утворюватися фосфідна фаза. Фосфор реагує із залізом, утворюючи фосфідні фази, такі як Fe_3P та FeP . Ці фази мають високу твердість і сприяють поліпшенню механічних властивостей вальницьової сталі. Це також допомагає підвищити зносостійкість вальницьової сталі, оскільки фосфідна фаза має високу твердість і може витримувати сильне тертя. Однак висока концентрація фосфору може знизити ковкість вальницьової сталі і зробити її більш крихкою. Тому важливо контролювати вміст фосфору в межах допустимого діапазону, щоб уникнути негативного впливу на ковкість.

При введенні хрому криві ізотермічної діаграми зсуваються праворуч, збільшуючи стійкість переохолодженого А, а також відокремлюються області перлітного та проміжного перетворень аустеніту (рис.3.2).

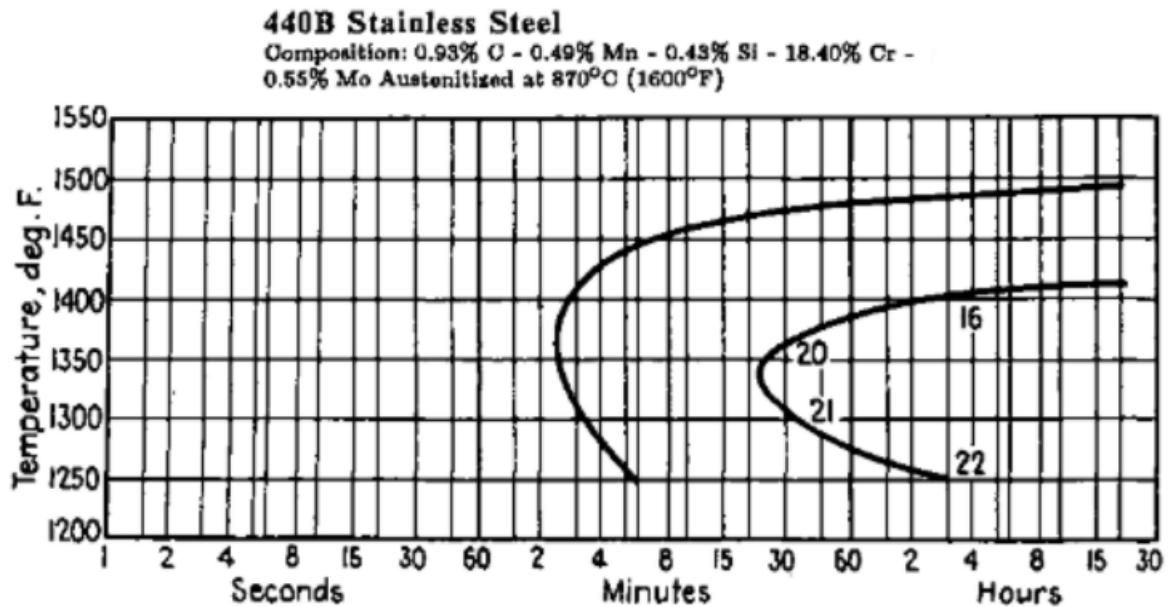


Рисунок 3.2 – Ізотермічна діаграма перетворення
 переохолодженого аустеніту сталі 95X18 [11]

За допомогою діаграми ізотермічного перетворення переохолодженого аустеніту для сталей 95X18 розрахуємо критичну швидкість охолодження за формулою 3.1 (максимальну швидкість отримання мартенситної структури без проміжних перетворень) [8]:

$$v_{кр} = \frac{t_{нагр} - t_{min}}{1,5 \cdot \tau_{min}}, \text{ } ^\circ\text{C/c} \quad (3.1)$$

де $t_{нагр}$ - температура нагрівання, $^\circ\text{C}$; t_{min} - температура мінімальної стійкості переохолодженого аустеніту, $^\circ\text{C}$; τ_{min} - мінімальна стійкість переохолодженого аустеніту, с; 1,5 – коефіцієнт, який враховує похибку розрахунків із ізотермічної діаграми. [8]:

$$v_{кр} = \frac{870-640}{1,5 \cdot 130} = \frac{230}{195} = 1,2, \text{ } ^\circ\text{C/c} \quad (3.2)$$

Дана швидкість вказує на те, що для гартування вальниць можна обрати масло в якості охолоджуючого середовища, що зменшує гартівні напруження. Крім того, хром як легувальний елемент, дещо зменшує схильність до перегріву, збільшує прогартовуваність, підвищує температури критичних точок, при вмісті до 1,5% пластичність не зменшує, підвищує міцність і твердість, трохи підвищує схильність до відпускнуї крихкості.

У таблиці 3.2 наведено значення критичних точок для вибраних сталей. Як видно з таблиці що вище концентрація хрому, то вище температури критичних точок.

Таблиця 3.2 – Температура критичних точок підшипникових сталей, °C [10]

Марка сплаву	A_{c1}	A_{cm}	A_{r1}	A_{rn}	M_n
30X13	810	860	710	660	240
40X13	820	870	780	-	270
95X18	830	1100	-	810	-

У таблиці 3.3 наводяться типові технології термічної обробки та механічні властивості після зазначеної термічної обробки.

Таблиця 3.3 - Режими термічної обробки та основні механічні властивості вальницьових сталей [10]

Марка сталі	Термічна обробка	Механічні властивості (не менше)				
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	КС, Дж/см ²	HRC (НВ)	σ_{-1} , МПа
1	2	3	4	5	6	7
30X13	Відпал, 740...800°C	540	-	-	-	-
	Гарт., 1000...1050°C, м. + Відп., 700...750°C, повітря	735	588	29	(235-277)	372 (N=1×10 ⁷)

Кінець таблиці 3.3

	Гарт., 50...1050°C, м. + Відп., 200...300°C, повітря або масло	-	-	-	50	-
40X13	Відпал, 740...800°C	550	-	-	-	-
	Гарт., 1030...1050, в. + Відп. 530°C, 2 год., в.	1670	1420	19	51	370
	Гарт., 1000...1050°C, м. + Відп., 200...300°C, повітря або масло	1840	1620	19	52	-
95X18	З, 1000...1070°C, м. + Відп. 200...300°C, повітря або масло	-	-	26,5- 28,5	59-62	960
		770	420	-	(269)	-

Як видно з табл.3.3 вимоги щодо твердості, зносостійкості, міцності виконуються після термічної обробки, що складається з гартування та низькотемпературного відпускання для всіх марок сталей.

4 РОЗРОБКА РЕЖИМІВ І ТЕХНОЛОГІЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Технологія термічного оброблення виробів – це складова частина технологічного процесу виробництва виробу, що забезпечує отримання заданої структури, механічних, експлуатаційних властивостей, якість виробів

Основними технологічними операціями термічної обробки тіл кочення зі сталей 30X13, 40X13, 95X18 є гартування та низькотемпературне відпускання.

Допоміжною операцією є очищення деталей від мала та інших забруднень – промивання виробів у мийних машинах. Промивання виробів проводять у 3-10% розчині кальцинованої соди. Температура розчину має становити 80-90°C.

Термічна обробка сталі 95X18 у промислових умовах для отримання найвищої твердості 58-64 HRC полягає у проведенні гартування від 1050-1070°C в маслі та відпусканні для зняття напружень при температурі 200-300°C.

На рис.4.1 показано вплив температури нагрівання під гартування. Оптимальною температурою нагріву є температура 1050-1070°C. Збільшення температури нагрівання під гартування збільшує розмір зерна та кількість залишкового аустеніту, що призводить до зниження твердості. Укрупнення зерна сприяє також одержанню крупногочастого мартенситу (рис.4.2) зі зниженою пластичністю та ударною в'язкістю. При нижчих температурах гартування недостатня твердість.

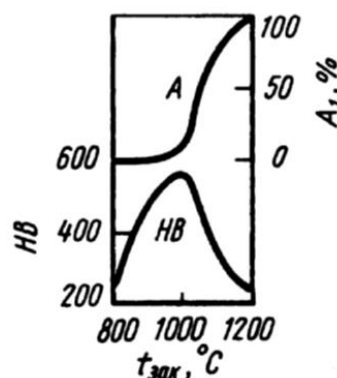
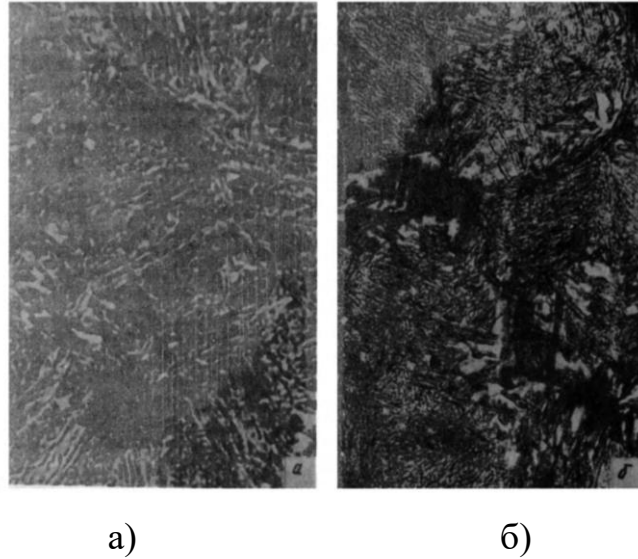


Рисунок 4.1 - Вплив температури нагрівання під гартування на твердість, кількість аустеніту сталі 95X18 [12]



а - 100, б - ·500

Рисунок 4.2 – Мікроструктура сталі 40X13 після гартування з 1150°С.

Первинні карбіди M_7C_3 , мартенсит та Азал [10]

Розглянемо вплив температури нагріву під гартування в інтервалі 1050-1250°С наступним відпусканням при температурі 200°С на структуроутворення. Загартування сталі від температури 1050°С забезпечує найвищу твердість (55 HRC), оскільки при цьому формується мартенситна структура з великою кількістю нерозчинених карбідів хрому та деякою кількістю залишкового аустеніту (до 15 %).

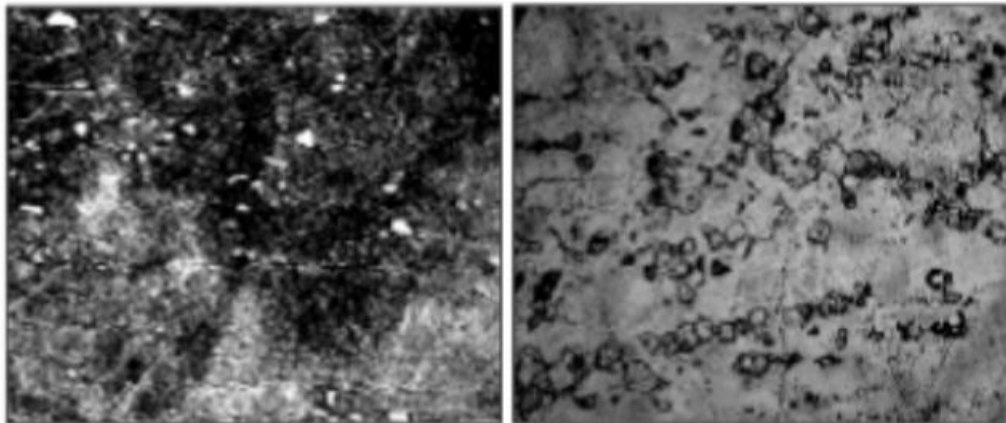
Підвищення температури нагріву під гартування у сталей до 1100°С призводить до зменшення кількості карбідів та мартенситу, підвищення вмісту залишкового аустеніту у структурі, що супроводжується деяким зниженням твердості (до 53 HRC відповідно). Подальше підвищення температури нагріву під гартування до 1200°С призводить до більшого розчинення карбідної фази та збагачення твердого розчину вуглецем та хромом. При цьому структура сталей переважно аустенітна з невеликим. кількістю карбідної фази. При подальшому підвищенні температури нагрівання під гартування (понад 1200°С) відбувається

більш повне розчинення карбідів та збільшення стабільності залишкового аустеніту.

З підвищенням температури нагрівання під гартування знижується температура початку мартенситного перетворення. Так, при підвищенні температури гартування з 950 до 1100°C температура M_p знижується з 260 до 60 °C. При температурі гартування 1200°C майже граничним розчиненням карбідної фази точка M_p лежить трохи вище за 0°C.

На кількість Азал в сталі 95X18 значно впливає швидкість охолодження при мартенситному перетворенні. Так після аустенізації при 1100°C кількість Азал у воді, маслі та на повітрі становить відповідно 45, 60 и 95%. При температурі аустенізації 1050°C кількість Азал відповідно 15, 25, 35%.

Мікроструктура сталі 95X18 після охолодження в різних середовищах наведена на рис. 4.3.



а)

б)

а – повітря, б – гаряче масло

Рисунок 4.3 – Мікроструктура сталі 95X18 після охолодження у різних середовищах, $\times 550 \times 1,5$ [10]

Охолодження деталей на повітрі призводить до утворення більшої кількості залишкового аустеніту, ніж при гартуванні в маслі.

Після термообробки з охолодженням у гарячому маслі структура досліджуваної сталі являє собою мартенсит, аустеніт та карбіди.

Після низькотемпературного відпускання крихкість мартенситу зменшується внаслідок часткової релаксації напружень. Високий вміст хрому в сталі призводить до того, що розпад легованого мартенситу при відпусканні починається при 370...400°C, забезпечуючи ефект вторинної твердості при 450...500 °C (рис.4.4) за рахунок виділення дисперсних карбідів хрому.

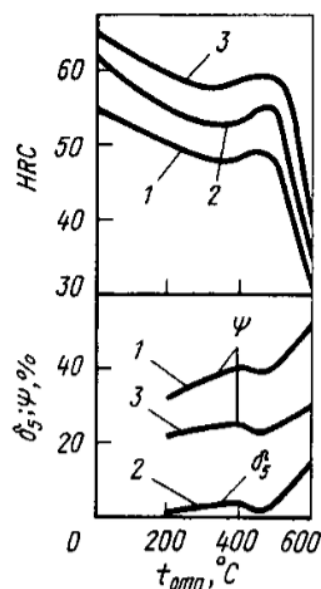


Рисунок 4.4 - Вплив температури відпускання на твердість та пластичність сталей 30X13 (1), 65X13 (2) та 95X18 (3) після гартування з 1050°C.

Витримка 1 год [12]

Після низькотемпературного відпускання структура сталі: мартенсит відпущений, карбіди та залишковий аустеніт.

Технологія термічної обробки складається із гартування від температур 1150°C та відпуску при 200...300°C.

Ролики підшипників зі сталі 95X18 під загартування нагрівають до температур 1150±10°C.

При розрахунку загального часу знаходження виробів у печі користуємося формулою 4.1 [8]:

$$\tau_{\text{заг}} = \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{техн}} + \tau_{\text{зв}}, \text{ хв, год} \quad (4.1)$$

де $\tau_{\text{н}}$ - час нагріву до заданої температури, хв;

$\tau_{\text{в}}$ - час витримки для вирівнювання температури перерізу виробу, хв;

$\tau_{\text{техн}}$ - час технологічної витримки для проходження необхідних процесів (насичення, виділення фаз, розчинення фаз, т. п.), хв.;

$\tau_{\text{зв}}$ - час необхідний завантаження – вивантаження виробів із печі, хв.

Для проведення термічної обробки роликів використовується піч СНВ-5.15.5/12. Ролики завантажуються в кошик із розмірами 500x500x200 насипом. У піч завантажуються одночасно 4 кошики.

Час перебування деталей при гартуванні розраховується за продуктивністю печі.

Продуктивність печі становить $A = \frac{M_{\text{с}}}{\tau_{\text{заг}}} = 140 \text{ кг/год}$. Об'єм деталей, що завантажуються розраховується за формулою 4.2 [8]:

$$V_p = a \cdot b \cdot c, \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

де a, b, c - внутрішні розміри печі [8]:

$$V_p = 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 0,375 \text{ м}^3;$$

$$V_{\partial} = 0,25 \cdot 0,375 = 0,094 \text{ м}^3;$$

$$M_{\partial} = 0,094 \cdot 2000 = 188 \text{ кг};$$

$$\tau_{\text{заг}} = \frac{M_{\partial}}{A} = \frac{188}{140} = 1,35 \text{ год}.$$

Відпуск роликів корозійностійких вальниць проводять при температурі 200-300°C.

Ролики вальниць завантажують в кошиках у камерну піч СНО- 5.10.3.5/3. Експериментально встановлено, що час витримки тіл кочення в печі зі сталі 95Х18 не повинно бути менше 3 год.

Для завантаження-вивантаження, нагрівання печі припустимо 0,5 год. Відпускна піч СНО- 5.10.3.5/3 характеризується продуктивністю 70 кг/год

Продуктивність печі при цьому становить $M_c = A \cdot \tau_{заг} = 70 \cdot 3,5 = 245 \text{ кг}$.

На рис. 4.5 зображено графік термічної обробки роликів вальниць зі сталі 95Х18, в табл.4.1 наведено карту технологічного процесу термічної обробки роликів вальниць зі сталі 95Х18.

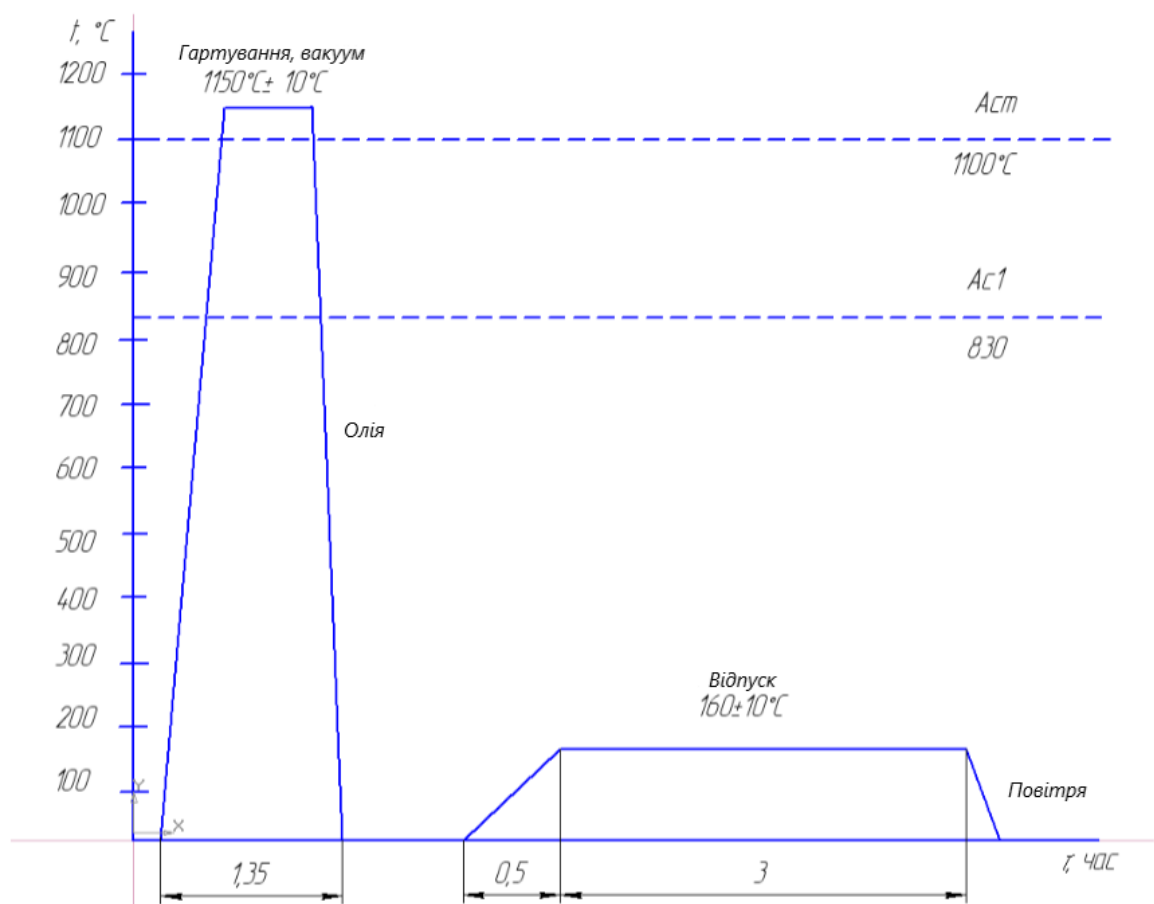
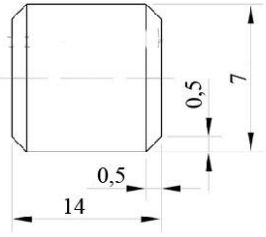


Рисунок 4.5 - Графік термічної обробки роликів підшипника зі сталі 95Х18

Таблиця 4.1 - Карта технологічного процесу термічної обробки роликів вальниці зі сталі 95X18

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Твердість		Структура
			95X18	HRC 58...64		Дрібногочастий мартенсит+ Азал+КІ+КІІ
1	2	3	4	5	6	7
№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С; час, хв.; середовище	Режим охолодження: середовище температура, склад; тривалість, хв.	Назва пристосування, кількість, шт.	Умови контролю та обробки
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, вимірювальний інструмент				5% від партії, відповідність хімічному складу сталі 95X18, лінійним розмірам
2	Гартування	СНВ-5.15.5/12				
2.1	Нагрівання	СНВ-5.15.5/12	1150±10°С; 1,35±0,1 год; Вакуум		Кошики, 188 кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрати газу, склад
2.2	Витримка	СНВ-5.15.5/12		Кошики, 188 кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрати газу, склад	
2.3	Охолодження	Гартівний бак		масло, T _{охол} =10 хв		Температура
3	Контроль	Твердомір ТК-2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC>56, мікроструктура

Кінець таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7
4	Відпуск	СНО-5.10.3,5/3				
4.1	Нагрівання	СНО-5.10.3,5/3	160±10°C; 0,5±0,2 год; повітря		Кошики, 245кг	Температуру в печі
4.2	Витримка	СНО-5.10.3,5/3	160±10°C; 3±0,2 год; повітря		Кошики, 245кг	Температуру в печі
4.3	Охолодження	стіл		повітря, T _{охол} =10 хв		
5	Вихідний контроль	Твердомір ТК – 2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC 58...64, мікроструктуру

Термообробка металовиробів у вакуумних електропечах має цілу низку переваг у порівнянні з традиційною. При термообробці в соляних ваннах і печах з окислювальною або захисною атмосферою оброблюваних деталей на поверхні утворюється або плівка оксидів, або окалина.

У загальнопромислових електропечах досить важко контролювати деформацію і короблення деталей з цілого ряду причин: тепловий удар через занурення деталей у розплав солей, пластична деформація при перенесенні металовиробів у загартований бак, короблення, що виникає при гартуванні в електропечах із захисною або окисною атмосферою.

Вирішенням цих проблем є застосування вакуумних електропечей опору для термічної обробки металовиробів. Термічна обробка у вакуумі має низку основних переваг:

- виключено окислення поверхні та утворення кольорів мінливості, отже, зменшуються припуски на металообробку;
- виходить світла поверхня при термообробці легкоокислюваних металів і сплавів через те, що руйнується вихідна оксидна плівка і не утворюється нова;

- відсутнє зневуглицювання в поверхневому шарі за умов безокислювального нагріву;
- виключається водневе окрихчення поверхні сталі;
- відбувається дегазація із поверхневого шару виробу як супутній процес при нагріванні;
- деформація та короблення деталей мінімальні;
- можлива комбінована термообробка у вакуумі та захисній атмосфері;
- у результаті забезпечується надзвичайно висока якість термообробки;
- повна екологічна безпека технології термічної обробки.

Додаткові переваги застосування вакуумних електропечей полягають у наступному: поліпшуються умови праці з допомогою повного виключення теплового забруднення довкілля; істотно зменшується витрата енергії, не потрібні капітальні вкладення на охорону навколишнього середовища (вакуумна термообробка є енергозберігаючою технологією).

Таким чином, вакуумна термічна обробка дрібних роликівих тіл кочення з високими вимогами стану поверхні стала вкрай необхідною технологією у виробництві деталей кочення вальниць.

Як основне обладнання обрані вакуумна камерна електрична піч СНВ для гартування роликів та електрична камерна піч для відпуску роликів. Допоміжне та додаткове обладнання – мийна машина конвеєрного типу, немеханізований гартиний бак.

5. ТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, ПОПЕРЕДЖЕННЯ ТА ВИПРАВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

5.1 Технічний контроль

Технічний контроль якості – перевірка відповідності процесів та їх результатів встановленим технічним вимогам, від яких залежить якість продукції.

Технічний контроль якості включає роботи на всіх стадіях виробництва: контроль якості вихідних матеріалів, контроль технологічних процесів термічної обробки, контроль продукції термічного цеху.

З метою підвищення надійності та довговічності машин на передових підприємствах застосовують операційний контроль усіх деталей у процесі термічної обробки за двома показниками: твердістю та товщиною шару хіміко-термічної обробки.

У вхідних матеріалів контролюють хімічний склад, макро- і мікроструктуру. Хімічний склад перевіряють хімічним та спектральним аналізами. Хімічний аналіз проводять у центральній заводській лабораторії (ЦЗЛ). Для цього від досліджуваного матеріалу беруть стружку, розмелюють і поміщають у відповідні реактиви. Всі компоненти розчиняються, а потім досліджуваний елемент випадає осад в результаті реакції з новим реактивом. Осад відфільтровують, висушують та зважують. По масі визначають кількість досліджуваного елемента. Спектральний аналіз проводять на стилоскопах чи спектрографах. Досліджувану деталь ставлять на стилоскоп. При подачі напруги між мідним електродом стилоскопа та деталю виникає електрична дуга. Світло від дуги проходячи через оптичну систему лінз, розкладається на лінійний колірний спектр, що складається з п'яти основних кольорів: червоного, жовтого, зеленого, блакитного та фіолетового. Кожному елементу відповідає своя лінія спектра. За кольором та інтенсивністю ліній спектра визначають кількість досліджуваного елемента в металі.

Макроаналіз застосовують для виявлення неметалевих включень, тріщин, раковин тощо. Мікроаналіз дозволяє визначити структуру сталі. Його проводять у лабораторії з використанням металографічних мікроскопів.

5.2. Контроль технологічних процесів

У термічних цехах здійснюють контроль за правильним виконанням технологічних процесів. Сюди відносять контроль: температури печі, атмосфери печі, глибини загартованого та цементованого шарів, справності пристроїв та ін.

Контроль за температурою в печах та нагрівальних установках здійснюється за допомогою термометрів, термопар, оптичних та радіаційних пірометрів, електронних потенціометрів, фотопірометрів тощо. Разом з тим здійснюють контроль за часом нагріву та витримкою деталей у процесі роботи.

Контроль атмосфери печі здійснюють постійно за допомогою газоаналізаторів. Склад атмосфери контролюють у печах, а й у деяких випадках на виході з них.

Під час роботи печі або агрегату точка роси атмосфери може змінюватись. Тому проводять періодичний контроль або застосовують прилади автоматичного контролю точки роси та регулювання режимів роботи генератора.

Широке застосування знаходять прилади автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу за допомогою інфрачервоного газоаналізатора. Принцип дії газоаналізатора заснований на тому, що інфрачервоні промені не поглинаються одноатомними газами (киснем, азотом, аргоном, воднем), але поглинаються багатоатомними газами (оксиди вуглецю, діоксиди вуглецю, метаном). Причому кожен складний газ поглинає енергію випромінювання з певною довжиною хвилі певної частини спектра випромінювання.

У табл.5.1 наведені дефекти термічної обробки, які можуть виникнути при термообробці роликів вальниць кочення.

Таблиця 5.1 - Дефекти термічної обробки роликів вальниць кочення

Вид дефекту	Спосіб виявлення	Можлива причина	Запобіжні заходи чи усунення
Тріщини	Візуально чи спеціальними методами	Швидке нагрівання при гартуванні	Здійснити підігрів перед загартуванням
		Швидке охолодження	Зменшити швидкість охолодження за рахунок вибору середовища-охолоджувача; застосувати ступінчасте або ізотермічне загартування
		Великий тимчасовий розрив між гартуванням та відпуском	Виконати відпустку безпосередньо після загартування
		Сильний перегрів при гартуванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу, налагодити обладнання
		Нераціональна конструкція деталі	Змінити конструкцію деталі: усунути різкі переходи, заокруглити гострі кути, симетрично розташувати отвори, пази

Кінець таблиці 5.1

Сильне окиснення (окалина на поверхні деталей)	Візуально	Нагрів в окисній атмосфері	Проводити нагрівання у захисних атмосферах
		Підвищений час витримки при нагріванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу
Оплавлення	Візуально	Перегрів	Дотримуватись режимів техпроцесу. Налагодити обладнання
		Неправильне розташування виробу деталей під час нагрівання	Не розташовувати вироби близько до нагрівачів
Підвищена твердість	Контроль твердості	Занижена температура відпуску. Недостатній час та витримки при відпуску. Підвищена швидкість охолодження при гартуванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу
Понижена твердість	Контроль твердості, визначення наявності залишкового аустеніту	Недогрів або мала витримка при гартуванні	Вибрати сталь, що має краще гартування або більшу гартування.
		Занадто повільне охолодження при гартуванні	
		Перегрів під час відпуску	
		Неправильний вибір сталі	

6. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ФАХІВЦЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

В розділі надані основні заходи з охорони праці при відпрацюванні технології термічної обробки тіл кочення вальниць виготовлених з корозійностійких сталей.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Вимог щодо організації та забезпечення безпеки на робочих місцях, що може бути пов'язано з не проведенням організаційних заходів щодо навчання та перевірки знань з охорони праці, інструктажів, не наданням інформації про можливі небезпеки;

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

в) Можливість отримання механічних травм при підготовці зразків для подальшого відпрацювання режимів термічної обробки, що може бути пов'язано з порушеннями правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом;

г) Небезпеки які пов'язані з використанням судин для зберігання захисних газів під тиском, зокрема: порушень правил зберігання переміщення та експлуатації судин під тиском, що може призвести до вибухів та великомасштабних руйнувань;

г) Небезпеки які пов'язані з безпосереднім термічним обробленням дослідницьких виробів, випробуванням зразків або виробів;

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

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

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

6.2 Заходи забезпечення безпеки

а) Усі працівники повинні пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці відповідно до «Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженого наказом Держнаглядохоронпраці (Держпраці) від 26.01.2005 №15. Роботодавець повинен забезпечити повну і вичерпну інформацію працівників з питань охорони праці як відносно підприємства в 33 цілому так і відносно специфіки виконуваних робіт на робочих місцях, де зазначені можливі небезпечні ситуації та заходи для їх запобігання. Найбільш ефективним є проведення відповідних інструктажів (вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий);

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

- призначити працівників, відповідальних за безпечне проведення робіт; - видати наряд або розпорядження;

- видати дозвіл на підготовку робочих місць і на допуск;

- підготувати робочі місця та забезпечити допуск до роботи;

- забезпечити нагляд при виконанні робіт;

- при необхідності, організувати переведення на інше робоче місце;

- забезпечити оформлення перерв у роботі та порядок її закінчення.

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

- забезпечення неможливості випадкового дотику до струмоведучих частин, що перебувають під напругою;

- електричний розподіл мережі;

- усунення небезпеки ураження з появою напруги на корпусах, кожухах та інших частинах електроустановки, що досягається захисним заземленням, зануленням і захисним відключенням;

- використання малих напруг;

- захист від випадкового дотику до струмоведучих частин кожухами, огороженням або подвійною ізоляцією;

- захист від небезпек можливих при переході напруги з вищої сторони на нижчу;

- контроль і профілактика пошкоджень ізоляції;

- компенсація ємнісної складової струму замикання на землю;

- застосування спеціальних електрозахисних засобів, блокувань, сигналізації та запобіжних пристроїв;

- організація безпечної експлуатації електроустановок;

в) Для уникнення механічних травм при виготовленні зразків необхідно працювати на справному станку, своєчасно проводити заміну деталей, термін

експлуатації яких вже закінчився та використовувати захисні окуляри та рукавиці; для виключення травмування органів зору передбачено застосування захисних окулярів, які служать для захисту очей від ушкоджень частками твердих тіл, що летять попереду, знизу і збоку. Ці окуляри оснащені фігурними боковинами, що відкидаються. Застосовувати прозорий екран для захисту очей робітника від поранень частками, що відлітають. Заходи безпеки при роботі на шліфувальних і заточувальних верстатах: установка абразивних кіл на верстатах повинна проводитися тільки спеціально проінструктованими наладчиками; 40 використання абразивних кіл з дефектами заборонено; абразивні кола повинні мати штамп або наклейку про випробування – порядковий номер кола і підпис особи, відповідальної за випробування; біля кожного верстата необхідно вивісити табличку із зазначенням допустимої роботи колової швидкості використовуваних кіл і частоти обертання шпинделя верстата в хвилину; при обертанні абразивного кола, виступаючі кінці шпинделя і кріпильні деталі захистити захисними кожухами; підручники повинні мати достатній за величиною майданчик для стійкого положення оброблюваного виробу. Зазор між краєм підручника і робочою поверхнею шліфувального круга повинен бути не більше 3 мм; заборонено працювати без підручника, захисного екрана або окулярів, якщо верстат не заземлений і не обладнаний установкою для відсмоктування абразивного пилу. ГОСТ 12.3.028–82 «Процесс обработки абразивными и эльборовым инструментом»;

г) Періодична перевірка знань робітників, які обслуговують балони, проводиться не рідше 1 разу в 12 місяців. Позапланова перевірка знань проводиться:

- при переході на інше підприємство;
- в разі внесення змін в інструкцію по режиму та безпечному обслуговуванню балонів;
- на вимогу інспектора Держнаглядохоронпраці або відповідального по нагляду за технічним станом та експлуатацією балонів.

У разі перерви в роботі по обслуговуванню балонів понад 12 місяців робітник після перевірки знань повинен перед допуском до самостійної роботи пройти стажування.

Допуск до самостійного обслуговування балонів оформляється наказом по підприємству.

Інструкція з безпечного обслуговування балонів повинна бути видана на руки під розписку або вивішена на робочому місці.

Робітник, який обслуговує балони повинен:

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.
- пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.
- вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків.
- вміти користуватись первинними засобами пожежегасіння.
- утримувати робоче місце в чистоті і порядку.
- дотримуватись правил експлуатації, транспортування та зберігання балонів.

Балони повинні мати вентиля, щільно вкручені в отвори горловини або у витратно-наповнювальні штуцери у спеціальних балонів, що не мають горловини.

Балони для стиснених, зріджених і розчинених газів місткістю більше повинні бути забезпечені паспортом.

На балони місткістю понад повинні встановлюватися запобіжні клапани. При груповому встановленні балонів допускається встановлення запобіжного клапана на всю групу балонів.

Бокові штуцери вентилів для балонів, які наповнюються воднем та іншими горючими газами, повинні мати ліву різьбу; а для балонів, які наповнюються киснем та іншими негорючими газами, - праву різьбу.

Кожний вентиль балонів для вибухонебезпечних горючих речовин, шкідливих речовин 1 і 2-го класів небезпеки повинен бути забезпечений заглушкою, яка накручується на боковий штуцер.

Вентилі в балонах для кисню повинні вкручуватись із застосуванням ущільнювальних матеріалів, загоряння яких в середовищі кисню виключається.

г) Отруєння робочими газами, пр. ТО може виникнути при будь-якій розгерметизації. Найбільш небезпечним є аміак. Балон з аміаком не мають підп'ятника, тому зберігання повинно бути тільки в аміачній рампі, яка має ємкість з водою, і при необхідності балони можуть бути скинуті в воду.

Для запобігання вибуху – газової суміші при операції нітроцементзації та цементзації: подача робочих газів в ендогенераторі, при температурі не нижче температури безпеки (950°C), подача насичувальних газів в реторту печі не нижче (750°C), подача керосину в реторту печі повинно відбуватися після продувки реторти азотом, для видалення залишків повітря.

д) При визначенні типу структури використовується горизонтальний металографічний мікроскоп МИМ-8 призначений для дослідження мікроструктури металів та інших не прозорих об'єктів в світловому полі при прямому і відбитому освітленні, а також в темному полі і в поляризованому світлі . Для візуального спостереження об'єктів мікроскоп забезпечений монокулярною і біноккулярною насадками. Власне збільшення біноклярної насадки – 2,5 х. Освітлення здійснюється від електролампи розжарювання потужністю 170 Вт, 17 В, живиться від освітлювальної мережі 220 В через понижуючий трансформатор ,забезпечений секційним перемикачем для регулювання яскравості напруження лампи. 42 Правильне використання мікроскопа виходить тільки за умови раціональної комбінації об'єктів, окулярів. При вживанні їх треба враховувати, тому що збільшення повинно знаходитися в межах від 500 до 1000 апертур. Крім правильної комбінації об'єктів і окулярів, не менш важливе значення має і правильне застосування світлофільтрів. Як правило , при роботі з об'єктивами-ахроматами слід застосовувати світлофільтри , а з апохроматами можна працювати і без них. Об'єктиви-ахромати мають корекцію

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

е) Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці визначаються відповідно до вимог Державних санітарних норм і правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», зареєстрованих МЮ України 06.05.2014 р. за № 472/25249, з урахуванням виявлених, в процесі аналізу потенційних 44 небезпек, небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Санітарний клас виробництва і розміри його санітарно-захисної зони визначаються з урахуванням наявних шкідливих виробничих факторів, згідно вимог ДСП 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів». Параметри мікроклімату і чистоти повітря визначають згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», в залежності від категорії фізичних робіт, для певних робочих місць (постійних і непостійних). Постійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться понад 50% робочого часу або більше 2-х годин безперервно. Якщо при цьому робота здійснюється в різних пунктах робочої зони, то постійним робочим місцем вважається вся ця зона. Непостійне робоче місце – це місце, на якому працюючий знаходиться менше 50% робочого часу або менше 2-х годин безперервно. Необхідно враховувати, що: - для постійних робочих місць визначаються оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року; - для непостійних робочих місць визначаються тільки допустимі параметри мікроклімату в холодний та теплий період року. - в холодний період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 18-20 С, допустима 17-23 С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 75 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,2 м/с, допустима не

більше 0,3 м/с; - в холодний період року на непостійних робочих місцях допустима температура: 15-24 С; допустима відносна вологість: 75 %; допустима швидкість переміщення повітря: не більше 0,3 м/с; - в теплий період року на постійних робочих місцях: температура оптимальна 21-23 С, допустима 18-27 С; відносна вологість: оптимальна 40-60 %, допустима 40-60 %; швидкість переміщення повітря: оптимальна не більше 0,3 м/с, допустима не більше 0,2-0,4 м/с; - в теплий період року на непостійних робочих місцях допустима температура 17-29 С; допустима відносна вологість: 65 % 45 при температурі 26 С; допустима швидкість переміщення повітря: 0,2-0,4 м/с. Далі, відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», визначається оптимальний склад і тип систем вентиляції, кондиціонування та опалення, які забезпечують підтримку передбачених параметрів мікроклімату і чистоти повітря;

є) Заходи з пожежної безпеки визначаються відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Категорію виробництва за пожежною небезпекою (А, Б, В, Г, Д) споруд (приміщень) цеху (ділянки, підстанції) визначають на основі аналізу речовин і матеріалів, що використовуються у виробництві, відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» і СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки та вимогами ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», визначають ступінь вогнестійкості приміщення цеху (дільниці, підстанції). Шляхи евакуації працівників на випадок пожежі (переходи, евакуаційні виходи) передбачають згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». 58 Максимальну відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу визначають згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания». Відповідність обладнання, силових і освітлювальних мереж вимогам пожежної безпеки в першу чергу залежить від

відповідності ступеня захисту їх оболонок (IP) класу пожежанебезпечної зони (П-I, П-II, П-IIa и П-III) визначених згідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок». Засоби виявлення займань та пожеж передбачаються згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту». В даний час можуть використовуватися: - охоронно-пожежна сигналізація (ОПС) неадресного типу; - порогова охоронно-пожежна сигналізація; - адресно-порогова охоронно-пожежна сигналізація.

7. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

7.1 Вплив хрому на фазовий склад

Введення хрому в залізо призводить до сильної зміни положення критичних точок, що відзначають $\gamma \leftrightarrow \alpha$ -перетворення.

Зі збільшенням вмісту хрому в металі точка A_4 знижується; точка A_3 знижується у сплавах із вмістом приблизно до 8% Cr і потім підвищується. При 13-15% Cr критичні точки A_4 і A_3 зливаються і сплави при подальшому збільшенні вмісту хрому не зазнають перетворень.

Розширення області твердих розчинів з α -ґраткою при підвищеному вмісті хрому пов'язане з тим, що хром і α -залізо мають однаковий тип просторових ґратки і дуже близькі значення параметрів.

При збільшенні вмісту хрому він сприяє звуженню γ -області. Своєрідний вплив хрому як фактора, що сприяє утворенню аустеніту, особливо сильно позначається в присутності нікелю та вуглецю, внаслідок чого аустенітна структура у сплавах з хромом виходить при меншому вмісті нікелю, ніж залізонікелевих сплавах.

На структуру сплавів з $\gamma \rightarrow \alpha$ -перетворенням великий вплив має вміст вуглецю, навіть коли він присутній у невеликих кількостях. У таких сплавах при швидкому охолодженні утворюється мартенситна структура, що має високу твердість, а при повільному охолодженні - перлітна, що має найнижчу твердість. Завдяки цьому такі сплави часто називають мартенситними чи перлітними.

Хром з вуглецем утворює декілька типів карбідів з різною температурою плавлення. Характеристику карбідів наведено в табл. 7.1. Найбільш розповсюдженні в сталі два типу карбідів: $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 . Залізо може частково заміщувати хром в цих карбідах: до 35% та до 18-25% відповідно. Тоді карбіди записуються як $(Cr,Fe)_{23}C_6$, $(Cr,Fe)_7C_3$. При менших концентраціях хрому утворюється карбід $Cr_{23}C_6$, при більших - Cr_7C_3 . При високих концентраціях хрому і малих концентраціях вуглецю карбід заліза Fe_3C в сталі відсутній.

Таблиця 7.1 - Властивості карбідів хрому та заліза [9]

Склад карбіду	Кристалічна гратка	Параметри гратки, Å			Температура плавлення, °С
		a	b	c	
Cr_{23}C_6 (Cr_4C)	Гранецентрована кубічна	0,64	-	-	1520-1550
Cr_7C_3	Тригональний	13,98	-	4,323	1630-1780
Cr_3C_2	Орторомбічний	2,82	5,52	11,46	1830-1895
Fe_3C		4,514	4,079	6,730	-

7.2 Вплив хрому на структуроутворення

При порівнянні діаграм $\text{Fe} - \text{Cr} - \text{C}$ та $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$ спостерігається значне звуження області аустеніту (рис.7.1). Точка евтектоїдного перетворення при введенні хрому зміщується вліво. При цьому температура евтектоїдного перетворення в міру підвищення концентрації хрому підвищується. Точка максимальної розчинності карбідів у $\gamma - \text{Fe}$ разом із лінією розчинності SE і точка відповідна ледебуритної евтектики, також зміщується ліворуч.

Фазові перетворення в вуглецевих сталях (30, 40), згідно діаграми $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$. Сталі відносяться до доевтектоїдного структурного класу (Ф+П). При охолодженні між лініями ліквідус і солідус відбувається кристалізація фериту. При температурі 1499°C спостерігається перитектичне перетворення: Ф+Р→А. При наступному охолодженні внаслідок залишку рідкої фази процес первинної кристалізації продовжується: Р→А. При подальшому охолодженні між лініями діаграми JE і GS фазові перетворення будуть відсутні і сталі мають аустенітну структуру. При охолодженні між лініями GS і PSK відбувається поліморфне перетворення аустеніту в ферит. При температурі 727 градусів спостерігається евтектоїдне перетворення А→П(Ф+Ц). Внаслідок чого формується структура

Ф+П. При наступному охолодженні до кімнатної температури з фази ферит виділяється цементит третинний ($\Phi \rightarrow \text{Ц}_{\text{III}}$)

Фазові перетворення в вуглецевій сталі 95, згідно діаграми Fe – Fe₃C. Сталь відноситься до заевтектоїдного структурного класу (П+Ц_{II}). При охолодженні між лініями ліквідус і солідус відбувається кристалізація аустеніту. При подальшому охолодженні між лініями діаграми JE і ES фазові перетворення будуть відсутні і сталь має аустенітну структуру. При охолодженні між лініями ES і PSK із аустеніту виділяється цементит вторинний ($A \rightarrow \text{Ц}_{\text{II}}$). При температурі 727 градусів спостерігається евтектоїдне перетворення $A \rightarrow \text{П}(\Phi + \text{Ц})$. Внаслідок чого формується структура П+Ц_{II}. При наступному охолодженні до кімнатної температури з фази ферит виділяється цементит третинний ($\Phi \rightarrow \text{Ц}_{\text{III}}$).

При введенні 13% хрому в систему Fe - C (рис.7.1) можемо спостерігати, що відбувається звуження аустенітної області (0 - 0,9%C). Також намагаються об'єднатися області низько- і високотемпературного фериту, максимальна розчинності вуглецю в фериті майже не змінюється.

Фазові перетворення в легованих сталях 30X13 (40X13). В інтервалі температур 1420-1380°C з рідини виділяється ферит ($P \rightarrow \Phi$). Потім в інтервалі температур 1380-1350°C відбувається перитектична реакція $P + \Phi \rightarrow A$. Від 1350 до 1270°C первинна кристалізація продовжується і з рідини виділяється аустеніт ($P \rightarrow A$). При наступному охолодженні від 1250 до 1000°C фазові перетворення відсутні, сталі мають аустенітну структуру. Від 1000 до 850°C з аустеніту виділяється карбід: $A \rightarrow (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. В інтервалі температур 850-800°C відбувається евтектоїдне перетворення $A \rightarrow \Phi + (\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$. Від 800°C до кімнатної температури фазові перетворення відсутні. Структура складається з фази Φ і $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$.

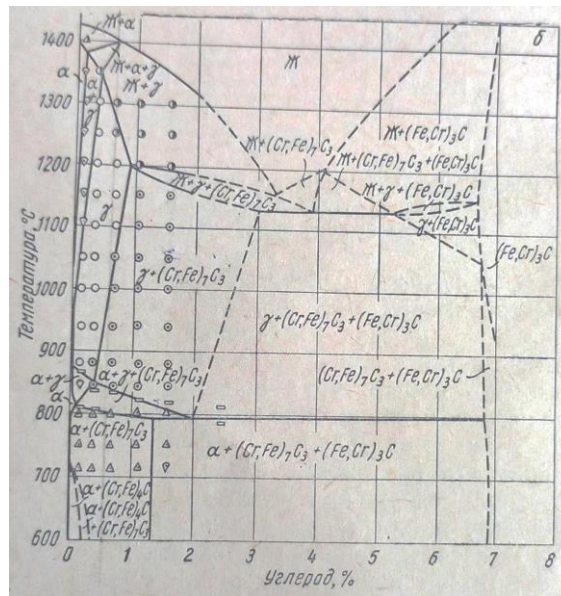


Рисунок 7.1 - Політермічний переріз діаграми системи Fe – Cr – C із вмістом хрому 12% [9]

Порівнюючи фазові перетворення в вуглецевих сталях 30 (40) і хромистих сталях 30X13 (40X13) можна зробити висновок, що 13% хрому змінюють температури фазових перетворень. Крім того в сталях 30X13 (40X13) карбід Fe_3C відсутній, тому що хром більш сильний карбідоутворювач і при його наявності при незначних концентраціях вуглецю утворюється карбід $(Cr, Fe)_7C_3$.

При введенні 18% хрому згідно перерізу (рис. 7.2) однофазна аустенітна область відсутня, області низько- і високотемпературного об'єднані і максимальна розчинність вуглецю в фериті становить приблизно 0,2%.

В інтервалі температур 1380-1350°C з рідини виділяється ферит (P→Ф). Потім в інтервалі температур 1350-1300°C відбувається перитектична реакція $P+Ф→A$. Від 1300 до 1250°C кристалізація продовжується і з рідини виділяються аустеніт (P→A). Від 1250 до 1230°C відбувається евтектичне перетворення $P→A+(Cr, Fe)_7C_3$. Від 1230 до 920°C фазові перетворення відсутні $A+(Cr, Fe)_7C_3$. В інтервалі 920-820°C проходить евтектоїдна реакція $A→Ф+(Cr, Fe)_7C_3$. Від 820 до 620°C фазові перетворення відсутні, структура складається з $Ф+(Cr, Fe)_7C_3$. Від 620°C до кімнатної температури з фериту виділяється карбід $Cr_{23}C_6$ ($Ф→$

Cr_{23}C_6) (за перитектоїдною реакцією). І як видно з рис.7.2 фазовий склад сталі 95X18 у відпаленому стані: $\Phi + \text{Cr}_{23}\text{C}_6 + \text{Cr}_7\text{C}_3$.

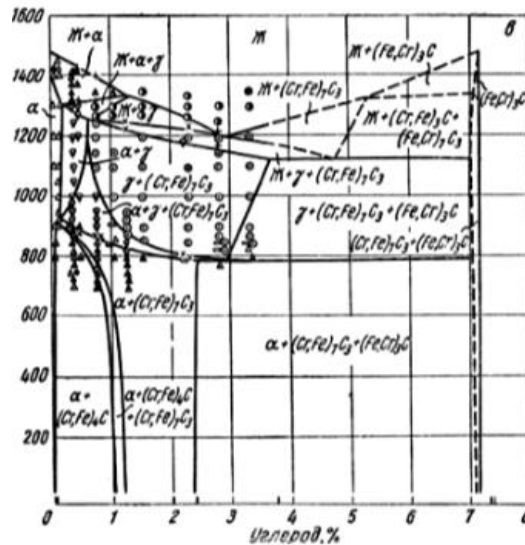


Рисунок 7.2 – Вертикальний розріз діаграми системи Fe – Cr – C із вмістом хрому 20% [9]

Порівнюючі вуглецеву сталь 95 з легованою 95X18 можна відмітити наявність евтектики в структурі і також відсутність карбиду Fe_3C .

З рисунку (7.3) видно, що при введенні 13% хрому відбувається розділення областей перлітного та бенітного перетворень. Також збільшується стійкість переохолодженого аустеніту до 500 секунд при температурі 630°C . Також можна відмітити, що відбувається зниження температури початку мартенситного перетворення (з 350 до 255°C).

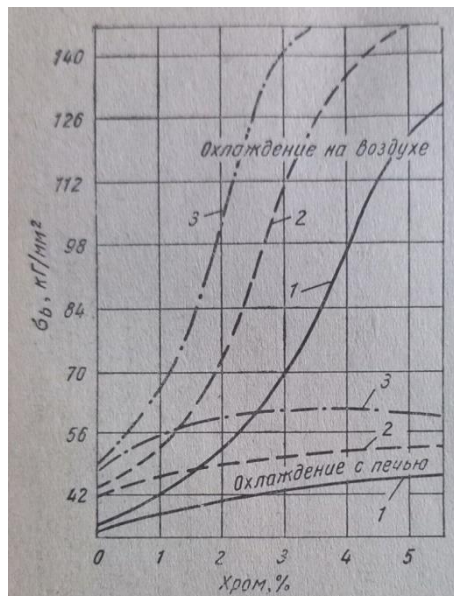
Порівнюючи лінії ізотермічних діаграм (рис. 7.4) сталей 95 та 95X18 також відмічаємо, що відбувається розділення областей і збільшення стійкості переохолодженого аустеніту до 3 хвилин при температурі 640°C .

Такий вплив хрому на фазові перетворення та структуроутворення при нагріванні та охолодженні необхідно враховувати при виборі температур нагріву та середовища охолодження.

7.3. Вплив хрому на механічні властивості

У загартованому стані границя міцності (рис. 7.5), границя плинності та твердість збільшуються з підвищенням вмісту хрому в сталі, а пластичність дещо зменшується. Хром підвищує стійкість сталі проти відпуску (рис.7.6).

У відпалених сталях хром також збільшує твердість і характеристики міцності і зменшує пластичність (рис. 7.7). При переході від сталей, що гартуються на мартенсит, до феритних (з 15% Cr) спостерігається розрив на кривих змін механічних властивостей.



1 – 0,10% C; 2 – 0,20% C; 3 – 0,30% C

Рисунок 7.5 – Вплив хрому на зміну границю міцності сталі після гартування на повітрі та після відпалу [9]

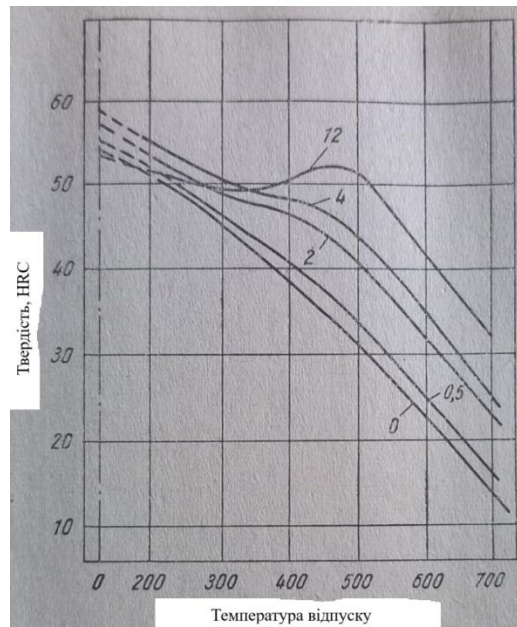


Рисунок 7.6 – Вплив температури відпуску на зміну твердості сталі з 0,35% і різним вмістом хрому (цифри у кривих - вміст хрому, %) [9]

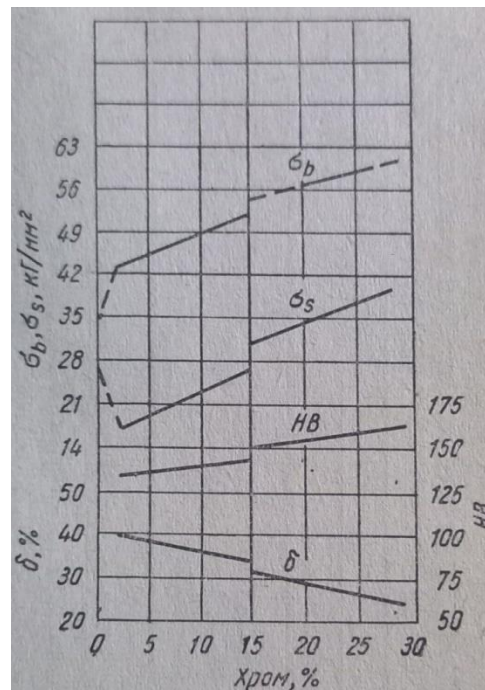


Рисунок 7.7 – Вплив хрому на механічні властивості відпалених хромистих сталей з 0,10% С [9]

На границю міцності та пластичність збільшення вмісту хрому має порівняно незначний вплив, а на ударну в'язкість та здатність до окрихчення сталі, особливо на зразках з надрізом, – значний.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було проаналізовано технологію термічної обробки тіл кочення вальниць з корозійностійких сталей. З'ясовано, що до матеріалу для виготовлення вальниць висувають високі вимоги до чистоти сталі за неметалевими включеннями, карбідною неоднорідністю тощо.

Створено маршрутну технологію виготовлення тіл кочення вальниць. Досліджено особливості фазових перетворень та структуроутворення в корозійностійких сталях 30X13 (40X13) та 95X18, їх механічні властивості, а також вплив на них термічної обробки. Складено графік та карту технологічного процесу термічного оброблення ролик вальниць кочення.

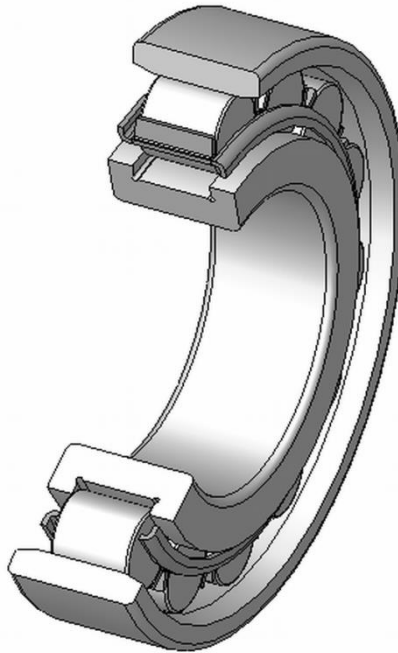
Було досліджено дефекти, що можуть виникати під час термічної обробки, заходи по їх запобіганню і виправленню.

У процесі експлуатації часто можуть виникати виходи з ладу деталей вальниць. Тому було досліджено причини руйнування тіл кочення вальниць. Необхідно дуже ретельно дотримуватись вимог та рекомендацій від виробника до складання та експлуатації вальниць.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. Львів : Афіша, 2003. — С. 560.
2. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина. – М.:Машиностроение, 1989. – 640 с.
3. Башнин Ю.А. Технологія термічної обробки / Ю.А. Башнин, Б.К Ушаков, А.Г Секей. – М.: Металургія, 1986. – 385с.
4. Гайдамака А.В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення: навч. посіб. – Х.: НТУ «ХПІ», 2009 – 248 с.
5. Самохоцкий А.И. Технологія термічної обробки металів / А.И.Самохоцкий, Н.Г. Парфеновская. – М.: Металургія 1980. – 264 с.
6. Спектор А. Г. Структура та властивості підшипникових сталей / А.Г.Спектор, Б.М. Зельбет, С.А. Киселева. – М.: Металургія ,1985. – 408 с.
7. Хільчевський В.В., Кондратюк С.Є., Степаненко В.О., Лопатько К.Г. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. Київ: Либідь, 2002.- с.326.
8. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної бакалаврської дипломної роботи для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» освітня програма (спеціалізація) «Прикладне матеріалознавство» усіх форм навчання. /Укл.: І.М. Лазечний, О.В. Климов, О.А. Глотка, Ю.І. Кононенко, О.В. Лисиця. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 57 с.
9. Химушин Ф.Ф. Нержавеющие стали /Ф.Ф. Химушин. – М.: Металлургия, 1967. – 801 с.
10. Структура и коррозия металлов и сплавов: Атлас. Справ. изд./Сокол И.Я., Ульянов Е.А., Фельгандлер Э.Г. и др. – М.: Металлургия, 1989. – 400 с.
11. Atlas of time-temperature diagrams for irons and steels / Edited by George F. Vander Voort. – ASM, 1991. – 783 p.
12. Гольдштейн М. И. Специальные стали / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, С. Г. Векслер. - М.: Металлургия, 1985. - 408 с.

ДОДАТОК А



Номенклатура виробу

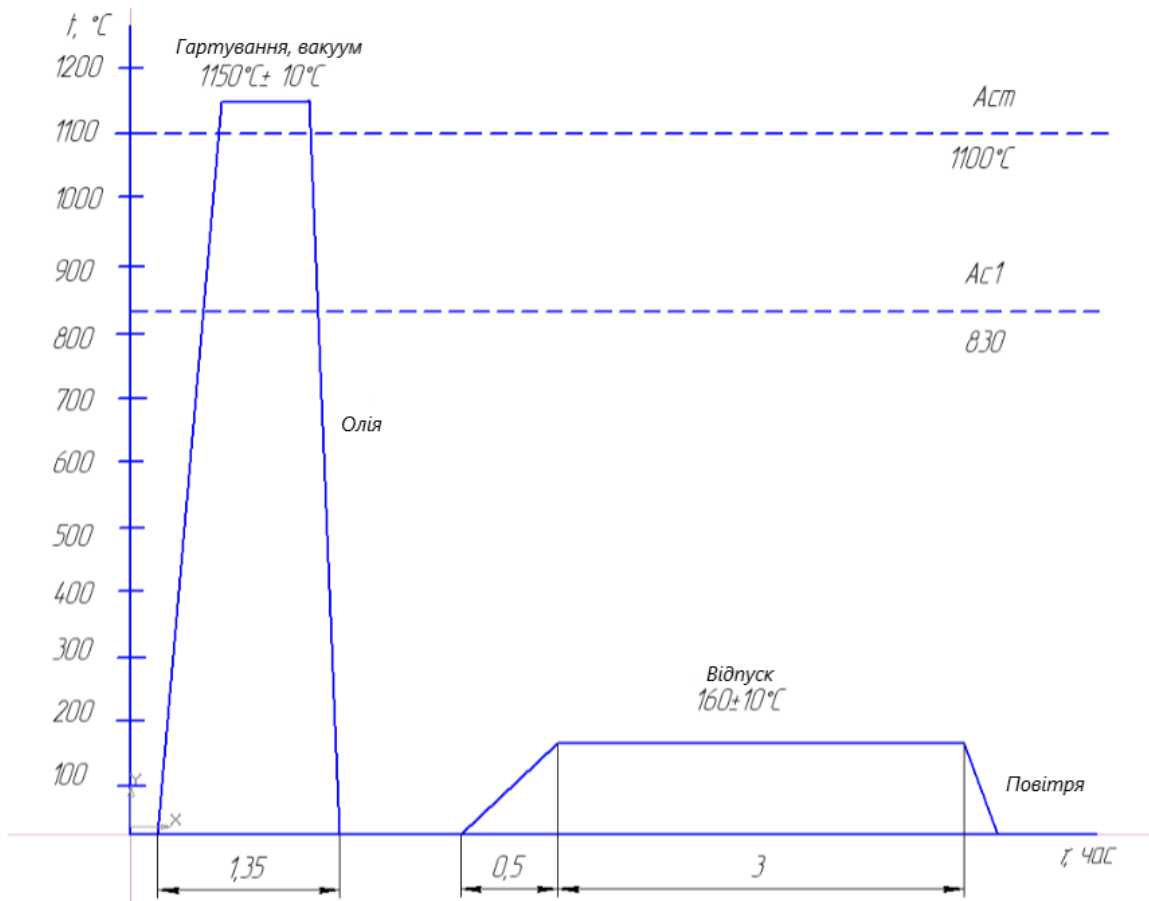
Назва виробу	Матеріал виробу	Маса виробу кг	Розміри виробу, мм			Вимоги до матеріалу
			L_p	r	D_p	
Ролики циліндричні короткі	30X13	0,00075	5,0	0,3	5,0	HRC δ 50
		0,00152	10,0	0,3	5,0	HRC δ 50
	40X13	0,0021	7,0	0,5	7,0	HRC δ 52
		0,0042	14,0	0,5	7,0	HRC δ 52
Ролики голчасті	95X18	0,0005	19,8	0,1	2,0	HRC 58...64
		0,0011	19,8	0,1	3,0	HRC 58...64
		0,0020	19,8	0,1	4,0	HRC 58...64
		0,0028	19,8	0,1	5,0	HRC 58...64

Примітка. 1 D_p – діаметр ролика, L_p – довжина ролика, r – радіус заокруглення

Хімічний склад вальницьових корозійностійких сталей

Марка сплаву	Легуючий елемент, % (мас)								
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu	Ti
					не більше				
30X13	0,26-0,35	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2
40X13	0,36-0,45	≤ 0,8	≤ 0,8	12,0-14,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2
95X18	0,9-1,0	≤ 0,8	≤ 0,8	17,0-19,0	0,025	0,03	0,6	0,30	0,2

ДОДАТОК Б



Графік термічної обробки роликів підшипника зі сталі 95X18

Карта технологічного процесу термічної обробки роликів вальниці зі сталі 95X18

Ескіз виробу			Технічні умови			
			Марка сталі	Твердість		Структура
			95X18	HRC 58...64		Дрібноголчастий мартенсит+ A _{зал} +K _I +K _{II}
1	2	3	4	5	6	7

Продовження таблиці

№ операції	Назва операції	Обладнання	Режим нагрівання: температура, °С; час, хв.; середовище	Режим охолодження: середовище температура, состав; расходи; продолжительность, мин.	Назва пристосування, кількість, шт.	Умови контролю та обробки
1	Вхідний контроль	Стилоскоп, вимірювальний інструмент				5% від партії, відповідність хімічному складу сталі 95X18, лінійним розмірам
2	Гартування	СНВ-5.15.5/12				
2.1	Нагрівання	СНВ-5.15.5/12	1150±10°С; 1,35±0,1 год; Вакуум		Кошики, 188 кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрати газу, склад
2.2	Витримка	СНВ-5.15.5/12			Кошики, 188 кг	Температура в печі, час, тиск газу, витрати газу, склад
2.3	Охолодження	Гартівний бак		масло, T _{охол} =10 хв		Температура
3	Контроль	Твердомір ТК-2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC>56, мікроструктура
4	Відпуск	СНО-5.10.3,5/3				

Кінець таблиці

4.1	Нагрівання	СНО- 5.10.3,5/3	160±10°C; 0,5±0,2 год; повітря		Кошики, 245кг	Температуру в печі
4.2	Витримка	СНО- 5.10.3,5/3	160±10°C; 3±0,2 год; повітря		Кошики, 245кг	Температуру в печі
4.3	Охолодження	стіл		повітря, T _{охол} =10 хв		
5	Вихідний контроль	Твердомір ТК – 2, мікроскоп				5% від партії, твердість HRC 58...64, мікрострук- туру

ДОДАТОК В

Вид дефекту	Спосіб виявлення	Можлива причина	Запобіжні заходи чи усунення
Тріщини	Візуально чи спеціальними методами	Швидке нагрівання при гартуванні	Здійснити підігрів перед загартуванням
		Швидке охолодження	Зменшити швидкість охолодження за рахунок вибору середовища-охолоджувача; застосувати ступінчасте або ізотермічне загартування
		Великий тимчасовий розрив між гартуванням та відпуском	Виконати відпустку безпосередньо після загартування
		Сильний перегрів при гартуванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу, налагодити обладнання
		Нераціональна конструкція деталі	Змінити конструкцію деталі: усунути різкі переходи, заокруглити гострі кути, симетрично розташувати отвори, пази

Продовження таблиці

Сильне окиснення (окалина на поверхні деталей)	Візуально	Нагрів в окисній атмосфері	Проводити нагрівання у захисних атмосферах
		Підвищений час витримки при нагріванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу
Оплавлення	Візуально	Перегрів	Дотримуватись режимів техпроцесу. Налагодити обладнання
		Неправильне розташування виробу деталей під час нагрівання	Не розташовувати вироби близько до нагрівачів
Підвищена твердість	Контроль твердості	Занижена температура відпуску. Недостатній час та витримки при відпуску. Підвищена швидкість охолодження при гартуванні	Дотримуватись режимів технологічного процесу
Понижена твердість	Контроль твердості, визначення наявності залишкового аустеніту	Недогрі або мала витримка при гартуванні	Вибрати сталь, що має краще гартування або більшу гартування.
		Занадто повільне охолодження при гартуванні	
		Перегрів під час відпуску	
		Неправильний вибір сталі	

ДОДАТОК Г

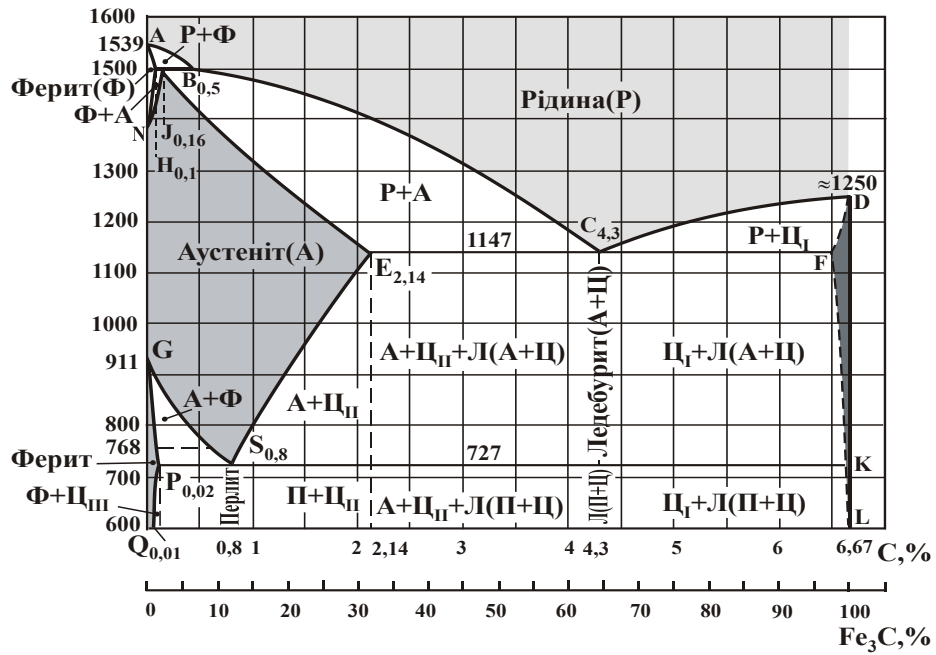
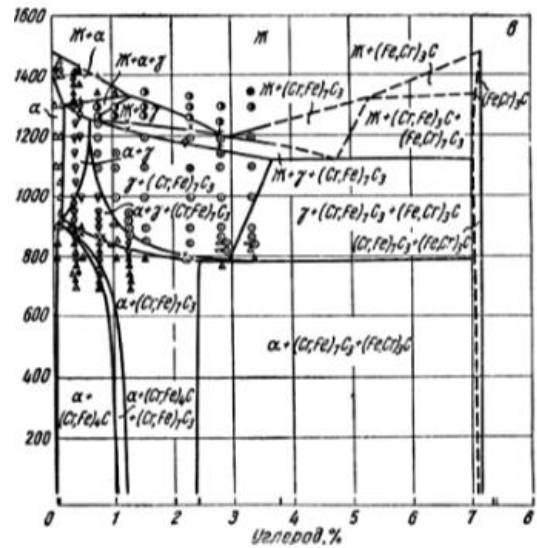
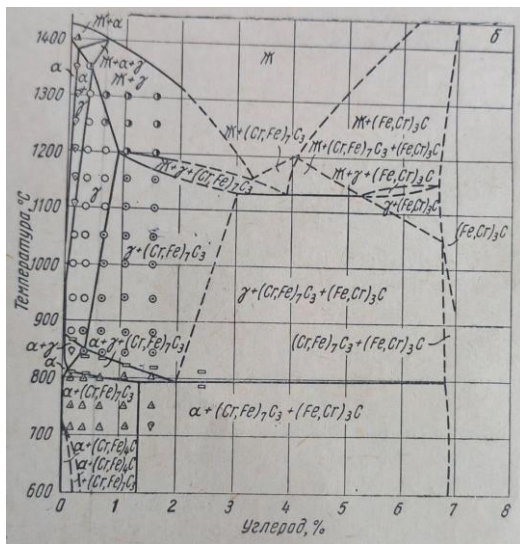
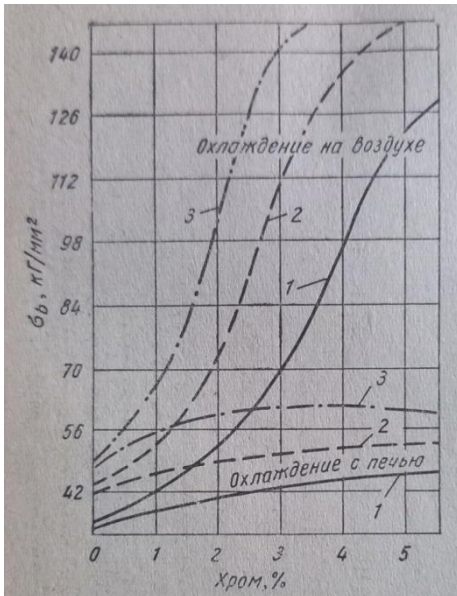


Рисунок – Метастабільна діаграма стану Fe-Fe₃C

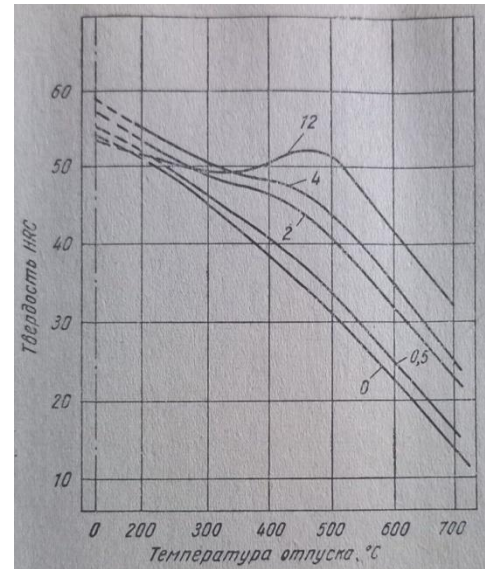


Політермічні перерізи діаграми системи Fe – Cr – C за вмістом хрому 12% (а)
та 20% (б)

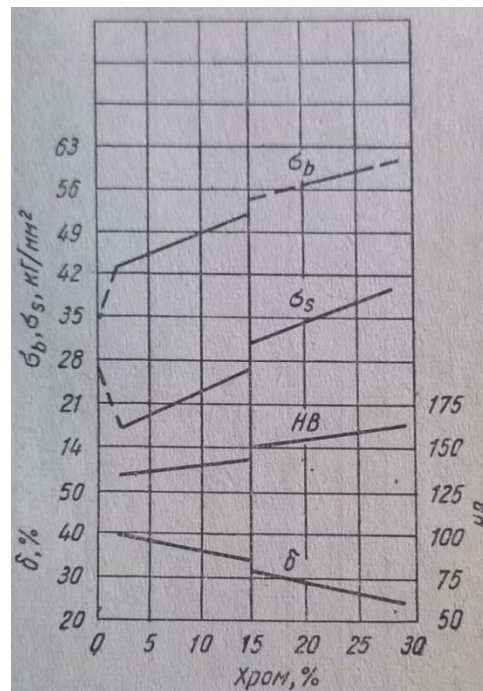


1 – 0,10% C; 2 – 0,20% C; 3 – 0,30% C

Вплив хрому на зміну границі
міцності сталі після гартування на
повітрі та після відпалу



Вплив температури відпуску на зміну
твердості сталі з 0,35% і різним
вмістом хрому (цифри у кривих -
вміст хрому, %)



Вплив хрому на механічні властивості відпалених хромистих сталей з 0,10% C