

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
**Кафедра прикладного матеріалознавства
і технології конструкційних матеріалів**

ЗАТВЕРДЖУЮ:
В. о.завідувача кафедри
Гапонова О. П.

_____ дата, підпис

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

за напрямом підготовки 132 «Матеріалознавство»

Тема роботи : «Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «напівмуфта компресора»

Виконав(ла):
студент Осічев Дмитро Романович

Керівник:
Доцент Говорун Тетяна Павлівна

Залікова книжка № _____

_____ дата, підпис

_____ підпис

Захищена з оцінкою

Секретар ЕК:
Сидоренко Ю.Ю.

_____ оцінка, дата

_____ дата, підпис

Суми 2020

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство і технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Гапонова О.П.

«__» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
ДЛЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Осічев Дмитро Романович

1. Тема проекту (роботи) _____

«Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «напівмуфта компресора» _____ затверджена наказом по університету від “ _____ ” _____ 20 _____ р. № _____

2. Термін здачі студентом закінченого проекту(роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор	Назва етапу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапу проекту (роботи)	Примітка
1	Розділ 1. Характеристика та умови експлуатації виробів, вимоги до матеріалу		
2	Розділ 2. Огляд літератури		
3	Розділ 3. Вибір матеріалу та методів дослідження		
4	Розділ 4. Маршрутна технологія отримання деталі «напівмуфта»		
5	Розділ 5. Розрахунково-експериментальна частина		

6. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 65 сторінок, зокрема 13 таблиць, 22 рисунки, список із 40 використаних джерел на 4 сторінках, 2 додатків на 2 сторінках.

Муфтами та напівмуфтами в техніці називають пристрої, які служать для з'єднання кінців валів, стрижнів, труб, електричних проводів і іншого. Досить часто муфти і напівмуфтами застосовують для з'єднання валів. Муфти (напівмуфти) з'єднання валів служать для передачі руху між ведучим і веденим валами. Також вони дозволяють вирішити проблему неспіввісності: горизонтальної, вертикальної й кутової похибок.

До матеріалу деталі «напівмуфта» пред'являються вимоги по міцності та в'язкості, а також холодноламкості; властивості матеріалу та його структура повинні бути рівними по всьому перерізу; також важивим є те, що матеріал не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах.

Метою роботи є встановлення закономірностей комплексного впливу вибору матеріалу, маршрутної технології виготовлення та термічної обробки на формування структури, фазового складу та механічних властивостей сталі 40ХН2МА для виготовлення деталі «напівмуфта компресора».

Методи досліджень: експериментальні дані, отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі 40ХН2МА для виготовлення напівмуфти компресора, та сучасних мікроскопічних і металографічних методів дослідження, які включають макроскопічний і мікроскопічний аналіз, якісний та кількісний металографічний аналіз, вимірювання твердості для вивчення механічних характеристик сталі.

Ключові слова: напівмуфта, компресор, термічна обробка, нормалізація, термополіпшення, структура, твердість

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ...	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	10
ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ.	10
ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ	
1.1 Умови експлуатації деталі «напівмуфта».....	10
1.2 Дефекти при виготовленні та експлуатації напівмуфт.....	12
1.2.1 Дефекти жорстких муфт та напівмуфт	13
1.2.2 Дефекти напівжорстких муфт.....	16
1.2.3 Дефекти торсійних і пружних муфт.....	17
1.3 Вимоги до матеріалу.....	18
Висновки.....	20
РОЗДІЛ 2	21
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	21
2.1 Виготовлення напівмуфт.....	21
2.2 Випробування напівмуфти в режимі реверсу.....	23
2.3 Призначення та види напівмуфт.....	29
Висновки.....	34
РОЗДІЛ 3	35
ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	35
3.1 Вибір оптимального матеріалу для деталі «напівмуфта»	35
3.2 Вплив легувальних елементів на властивості матеріалу.....	39
3.3 Вибір методів дослідження.....	43
Висновки.....	47
РОЗДІЛ 4	48
МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ	48
«НАПІВМУФТА»	
4.1 Розробка технологічного процесу отримання деталі	48
4.2 Технологія отримання деталі	48
Висновки.....	54
РОЗДІЛ 5	55
РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТНА ЧАСТИНА	55
5.1 Термічна обробка деталі «напівмуфта»	55
5.2 Вибір і розрахунок обладнання для проведення термічної обробки	59
5.3. Проектування термічної дільниці.....	64
Висновки.....	66
ВИСНОВКИ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
Додаток А Креслення деталі	73
Додаток Б Проектування термічного цеху.....	74

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

ГПА – газоперекачувальний агрегат

СНД – співдружність незалежних держав

МИМ-7 – металографічний вертикальний мікроскоп

ТО – термічна обробка

$\sigma_{0,2}$ – межа текучості умовна, МПа

σ_B – межа міцності при розтягу, МПа

σ_T – межа пропорційності (межа текучості для залишкової деформації), МПа

δ_5 – відносне подовження при розриві, %

ψ – відносне звуження, %

КСУ – ударна в'язкість, кДж/м²

НВ – твердість за Бринелем

НРС – твердість за Роквелом, шкала С

ВСТУП

Сучасні вимоги до надійності, безвідмовності та компактності обладнання різних галузей промисловості призводять до необхідності підвищення навантажувальної здатності його деталей, вузлів і складальних одиниць. Одними із найбільш напружених є напівмуфти і муфти. Ці деталі розробляють, використовуючи принцип передачі навантаження за рахунок тертя. Виходячи із цього вибір матеріалу та удосконалення термічної обробки є важливою задачею у розрізі підвищення експлуатаційної безвідмовності механічного обладнання [1-2].

Муфтами та напівмуфтами в техніці називають пристрої, які служать для з'єднання кінців валів, стрижнів, труб, електричних проводів і іншого. Досить часто муфти і напівмуфтами застосовують для з'єднання валів. Потреба цих з'єднань пов'язана з тим, що більшість машин компонують з ряду окремих частин з вхідними і вихідними валами, які з'єднують за допомогою муфт. З'єднання валів є загальним, але не єдиним призначенням муфт. Так, наприклад, муфти використовують для включення виконавчого механізму при безперервно працюючому двигуні (керовані муфти); запобігання машини від перевантаження (запобіжні муфти); компенсації шкідливого впливу неспіввісності валів (компенсуючі муфти); зменшення динамічних навантажень (пружні муфти) і інше [3-4].

Муфти (напівмуфти) з'єднання валів служать для передачі руху між ведучим і веденим валами. Також вони дозволяють вирішити проблему неспіввісності: горизонтальної, вертикальної й кутової похибок.

Крім зазначеного, муфти приводів можуть виконувати інші важливі функції: компенсацію невеликих монтажних відхилень взаємного розташування вузлів і агрегатів, роз'єднання валів, автоматичне керування роботою машини, плавне повідомлення валів при запуску машин, захист машин від поломок в аварійному режимі і інше [2]. Тому тема кваліфікаційної роботи бакалавра є **актуальною**.

Виробом, до складу якого входить деталь «напівмуфта» є компресор 294 ГЦ 2-460/18,5-4-1, який призначений для використання на різних газоперекачувальних станціях і магістралях. Компресор до складу, якого входить запропонована деталь, відноситься до опозитних компресорів, які знаходять широке застосування в країнах СНД і ближнього зарубіжжя Ірак, Іран і інших. Опозитний компресор – компресор, в якому стискуваний газ хоча б на одній із стадій циклу має криогенну (низьку) температуру. Основними елементами компресора є корпус, робочі колеса насаджені на вал і підшипники. У корпусі закріплені дифузори.

Напівмуфта – деталь, що не несе великих навантажень, однак має забезпечувати високу точність у виготовленні та стабільність розмірів в процесі експлуатації. Матеріал для виготовлення деталі, має мати низький коефіцієнт термічного розширення, високі міцність, поріг холодноламкості та працювати при понижених температурах. До матеріалу деталі «напівмуфта» пред'являються вимоги по міцності та в'язкості, а також холодноламкості; властивості матеріалу та його структура повинні бути рівними по всьому перерізу; також важивим є те, що матеріал не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах [5].

Метою роботи є встановлення закономірностей комплексного впливу вибору матеріалу, маршрутної технології виготовлення та термічної обробки на формування структури, фазового складу та механічних властивостей сталі 40ХН2МА для виготовлення деталі «напівмуфта компресора».

До завдань досліджень відносяться наступні: проведення аналізу літературних джерел (підручників, тез доповідей, наукових публікацій, статей), з метою вивчення результатів, які стосуються вдосконалення вибору матеріалів, зменшення впливу дефектів, розроблення маршрутної технології виготовлення та термічної обробки напівмуфт.

Методи досліджень: експериментальні дані, отримані з використанням стандартних методів визначення фізико-механічних властивостей та структури сталі 40ХН2МА для виготовлення напівмуфти компресора, та сучасних

мікроскопічних і металографічних методів дослідження, які включають макроскопічний і мікроскопічний аналіз, якісний та кількісний металографічний аналіз, вимірювання твердості для вивчення механічних характеристик сталі. Дослідження виконано за допомогою теоретичних і практичних методів.

Практичне значення одержаних результатів. Було вибрано матеріал для виготовлення напівмуфти компресора, визначено оптимальну технологію отримання та режими термічної обробки, що сприяють досягненню істотного підвищення комплексу механічних властивостей матеріалу.

Апробація результатів роботи. Тези конференції. Особливості призначення та вибір матеріалу для деталі «напівмуфта» [2].

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ТА УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЕТАЛІ. ВИМОГИ ДО МАТЕРІАЛУ

1.1 Умови експлуатації деталі «напівмуфта компресора»

Муфтами та напівмуфтами в техніці називають пристрої, які служать для з'єднання кінців валів, стрижнів, труб, електричних проводів і іншого. Досить часто муфти і напівмуфтами застосовують для з'єднання валів. Потреба цих з'єднань пов'язана з тим, що більшість машин компонують з ряду окремих частин з вхідними і вихідними валами, які з'єднують за допомогою муфт. З'єднання валів є загальним, але не єдиним призначенням муфт. Так, наприклад, муфти використовують для включення виконавчого механізму при безперервно працюючому двигуні (керовані муфти); запобігання машини від перевантаження (запобіжні муфти); компенсації шкідливого впливу неспіввісності валів (компенсуючі муфти); зменшення динамічних навантажень (пружні муфти) і інші [3-4].

Виробом, до складу якого входить деталь «напівмуфта» є компресор 294 ГЦ 2-460/18,5-4-1. Агрегат, в цілому, призначений для використання на різних газоперекачувальних станціях і магістралях. Компресор до складу, якого входить запропонована деталь, відноситься до опозитних компресорів, які знаходять широке застосування в країнах СНД і ближнього зарубіжжя Ірак, Іран і інших. Опозитний компресор – компресор, в якому стискуваний газ хоча б на одній із стадій циклу має криогенну (низьку) температуру. Напівмуфта – деталь, що не несе великих навантажень, однак має забезпечувати високу точність у виготовленні та стабільність розмірів в процесі експлуатації. Матеріал для виготовлення деталі, має мати низький коефіцієнт термічного розширення, високі міцність, поріг холодноламкості та працювати при понижених температурах. Основними елементами компресора є корпус, робочі колеса насаджені на вал і підшипники. У корпусі закріплені дифузори. Всмоктувальна камера і равлик є

складовими частинами корпусу. Проточною частиною компресора 294 ГЦ 2–460/18,5–41 є всмоктуюча камера, робоче колесо, дифузор, равлик 5. Принцип роботи компресора 294 ГЦ 2–460/18,5–41 наступний. Стислий газ підводиться по всмоктуючому трубопроводу до всмоктуючої камері машини і потім надходить в канали, утворені лопатками робочого колеса. Під дією відцентрової сили газ відкидається до периферії робочого колеса. При русі газу в колесі за рахунок енергії, що передається від лопаток робочого колеса, підвищується тиск і збільшується його швидкість, а отже, і кінетична енергія в абсолютному русі. Робоче колесо є єдиним елементом ступені, в якому енергія підводиться до газу. У всіх інших (нерухомих) елементах ступені відбувається тільки перетворення енергії, отриманої в робочому колесі. У дифузорі швидкість газу зменшується внаслідок збільшення прохідної площі, а частина кінетичної енергії газу перетворюється в статичний тиск. Після виходу з дифузора газ надходить в равлика (збірну камеру, що служить для збору потоку газу про підведення його до нагнітального трубопроводу. Деталь «напівмуфта» є однією зі складових компресора 294 ГЦ 2–460/18,5–41 ГПА (рис 1.1) і таблиця 1.1 [6].

Таблиця 1.1

Основні технічні характеристики відцентрового компресора
294 ГЦ 2–460/18,5–41 ГПА

Назва характеристики	Величина
Продуктивність об'ємна, приведена до початкових умов, м / с (м / хв), не менше	6,91 (414,35)
Тиск початковий, абсолютне, МПа (кгс / см) номінальне	1,0 (10,19)
Тиск кінцевий, абсолютне, МПа (кгс / см) номінальне	2,0 (20,39)
Частота обертання ротора компресора, розрахункова, з (об / хв)	85,0 (8036)
Діапазон зміни частоти обертання ротора компресора, с (об / хв)	43,50 ÷ 95,67 (8610 ÷ 5740)
Діапазон робочих температур, °С	-55 °С – +45 °С

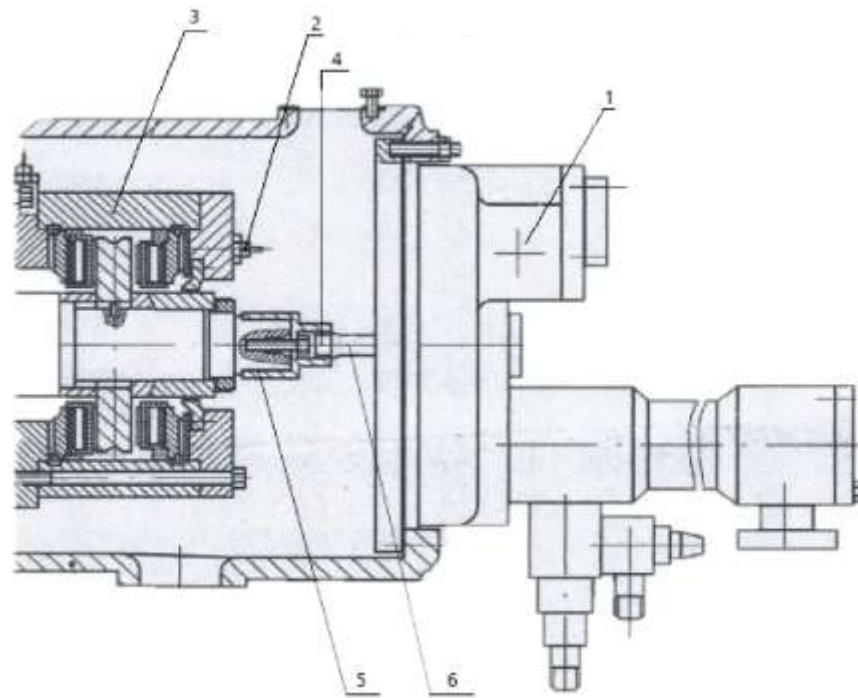


Рисунок 1.1 – Схема положення напівмуфти у вузлі: 1 – блок маслососа; 2 – датчик осьового зсуву; 3 – підшипник опорно-упорний; 4 – втулка; 5 – напівмуфта; 6 – вал

Креслення деталі «напівмуфта» приведено в додатку А. Дана деталь закріплюється на валу ротора зліва за допомогою двох шпонок і служить для передачі крутного моменту на торсійний вал до маслососа. Напівмуфта знаходиться на валу ротора і перебуває в зубчастому зачепленні з торсійним валом маслососа справа, який в свою чергу виробляє мастило підшипників і ущільнень ГПА.

В процесі роботи виріб не піддається складним несучим навантаженням, однак оскільки він знаходиться в зубчастому зчепленні з торсійним валом, його матеріал повинен забезпечувати високу конструкційну міцність та в'язкість.

1.2 Дефекти при виготовленні та експлуатації напівмуфт

При виготовленні та експлуатації напівмуфт можуть виникнути певні дефекти. В даному пункті ми розглянемо дефекти основних типів сполучних муфт та напівмуфт, звертаючи найбільшу увагу на можливості діагностування

цих дефектів за спектрами вібраційних сигналів. Для різних типів муфт по вібраційних параметрам можуть бути діагностовані різні дефекти, це пов'язане з особливостями конструктивного виконання муфт і напівмуфт. Тому розгляд можливих практичних проблем для кожного типу муфт і напівмуфт ми будемо вести роздільно, з урахуванням їх конструктивних особливостей.

Об'єднання декількох окремих механізмів в єдиний технологічний агрегат завжди здійснюється за допомогою з'єднувальних муфт і напівмуфт різної конструкції. Якість монтажу з'єднувальних муфт і напівмуфт, а також їх технічний стан, що змінюється в процесі експлуатації, багато в чому визначає загальний технічний стан агрегату.

Основне призначення з'єднувальних муфт і напівмуфт – передача енергії від джерела (турбіни, ДВС або електродвигуна) до споживача цієї енергії, до приводного механізму (генератора, насоса, вентилятора, або інших механізмів). З цієї причини дефекти, що виникають в сполучних муфтах і напівмуфтах, в значній мірі позначаються на загальному вібраційному стані агрегату, так як через них проходить вся перетворюєма технологічним агрегатом енергія [7-8].

1.2.1 Дефекти жорстких муфт та напівмуфт

У великих стаціонарних агрегатах, наприклад в турбоагрегатах електростанцій, досить широко поширені жорсткі муфти і напівмуфти різної конструкції. Загальним для таких виробів є те, що з їх допомогою з'єднуються вали механізмів дуже чітко і жорстко фіксуються відносно один одного. В ідеалі, за допомогою жорсткої муфти і напівмуфти два ротори можуть бути об'єднані практично в єдине ціле.

Окрім того жорсткі муфти та напівмуфти можуть передавати через себе дуже великий крутний момент, в напрямку від механізму –джерела енергії, до механізму – споживача (перетворювача). Це є основною відмінною рисою жорстких муфт [7].

Завдяки застосуванню жорстких муфт і напівмуфт вдається вирішити цілий ряд складних технологічних задач. Наприклад, в потужних агрегатах вдається зменшити або навіть взагалі виключити з конструкції деякі складні вузли і додаткові підшипники осьової фіксації і розвантаження роторів – це досягається з'єднанням за допомогою жорсткої муфти двох механізмів з протилежним напрямком дії осьових зусиль. Процес монтажу жорстких муфт повинен проводитися з мінімальними технологічними допусками і вимагає забезпечення на підприємстві високого культури виробництва. По ряду причин різної природи виникнення, в процесі монтажу жорсткої муфти в агрегаті можливе виникнення кількох типів найбільш часто зустрічаються дефектів. Діагностика цих дефектів може бути досить ефективно виконана за допомогою аналізу вібраційних сигналів [7].

Найбільш поширеними дефектами монтажу, і експлуатації напівмуфт та жорстких муфт є три види [7]:

1. «Колінчасте» з'єднання в жорсткій муфті та напівмуфті, або, як коротко кажуть на практиці дефект типу «коліно». Полягає він в тому, що при монтажі, або вже в процесі експлуатації агрегату, з тих чи інших технологічних причин центри з'єднаних валів неточно збігаються один з одним. Вони жорстко з'єднані один з одним, але їх осі не збігаються. В результаті зчленовані вали агрегату, при такому дефекті, представляють собою не єдиний вал, як це повинно бути, а вал з дефектом типу «коліно» в місці з'єднання. Практичним підсумком створення, або виникнення цього дефекту в жорсткій муфті і напівмуфті, стає зростання вібрації обладнання.

2. Кутовий злам валу в жорсткій муфті та напівмуфті, що приводить до зламу лінії вала агрегату. У практиці цей дефект називається досить часто і іншими термінами, такими, як «маятник» або «розкриття муфти». Термін «маятник» виник, найімовірніше тому, що при обертанні вала з таким дефектом центр протилежного від муфти кінця вала здійснює кругове обертання. Може дефект називається так, виходячи зі способу діагностики цього дефекту, що застосовується на практиці. При цьому способі перевірки правильності монтажу

муфти вільний кінець ротора підвішується на тросі і звільняється від підшипника. Маятник діагностується по поперечним переміщенням ротора в районі відсутнього підшипника, де здійснено тросовий підвіс вала. Недоліком цього методу діагностики є його велика трудомісткість і ряд технологічних обмежень на його застосування.

3. Дефекти посадки напівмуфт на сполучаємі вали, виражаються у відхиленнях від вимог ідеального монтажу. При неправильній посадці і напівмуфт в вузлі зчленування валів виникають або паралельні зрушення («коліно»), або кутові злами в муфті («маятник»). В будь-якому випадку цей дефект завжди трансформується або до дефекту першого виду – до коліна, або до дефекту типу «маятник», або ж до їх спільного прояву, що буває на практиці частіше за все. Це основні специфічні дефекти жорсткої муфти і напівмуфти. При всіх вищеописаних дефектах жорстких муфт картина фізичних процесів в агрегаті при обертанні двох валів, з'єднаних жорсткої муфтою, що має дефекти монтажу, приблизно однакова і має дві основні особливості:

Діагностика дефектів муфти на «коліно» і «маятник» ведеться, в основному, за фазами першої гармоніки зворотної частоти ротора. Це виконується в усіх контрольованих опорних точках агрегату одночасно. Перша вимога до отриманим сигналам - фази перших гармонік повинні бути стабільними. Інакше, джерело підвищеної вібрації потрібно шукати в будь-якому іншому місці агрегату [7].

Діагностичні ознаки дефекту типу «коліно». На опорних підшипниках з двох сторін муфти фази перших гармонік вібрації повинні відрізнятися на 180° , з урахуванням допустимої похибки визначення фази до 30 градусів. Ця умова має виконуватися як в вертикальному напрямку вимірювання вібрації, так і в поперечному. Особливо важливо, щоб ця умова обов'язково виконувалося в вертикальному напрямку. Фази перших гармонік є вібросигналом з підшипників, розташованих через механізм від муфти, менш інформативні і не завжди необхідні умови по ним виконуються. Дефект муфти типу «коліно» в такому модернізованому агрегаті з діагностичною ознакою дуже схожий на небаланс.

Особливістю є те, що він досить просто усувається установкою балансувальних вантажів [7].

Діагностичні ознаки дефекту типу «маятник». Для діагностики дефекту маятника обов'язково необхідно проводити синхронне порівняння початкових фаз вібраційних сигналів відразу по всіх чотирьох підшипниках. На опорних підшипниках з двох сторін муфти фази перших гармонік повинні бути однаковими. Це справедливо як для вертикальної складової, так і для поперечної складових вібраційного сигналу. Якщо прийняти за базу для порівняння фазу першого «польового» підшипника агрегату, і вважати її початковою, то далі, по порядку проходження підшипників, фаза першої гармоніки змінюється наступним чином: +180 градусів, +0 градусів, +180 градусів [7].

Ступінь дефекту жорсткої муфти зазвичай оцінюють по підвищенню загального рівня вібрації. Якщо агрегат має вібрації підвищеного рівня і причиною тому є муфта, то зазвичай рішення про проведення ремонту залежить від співвідношення норм на вібрацію для даного агрегату і поточного рівня вібрації. Точніше кажучи, робиться спроба «заспокоїти» агрегат, зменшивши вібрації установкою балансувальних вантажів. Ефективність такої спроби, при дефектах жорсткої муфти, зазвичай не дуже велика [7].

1.2.2 Дефекти напівжорстких муфт

Під напівжорсткими сполучними муфтами розуміють досить вузький клас муфт з хвильовими (лінзовими) компенсаторами, що дуже нагадують за зовнішнім виглядом один або кілька гнучких сегментів від барометричної коробки. Муфти такого типу за своїми властивостями є проміжними, між жорсткими і «рухомими» типами муфт. Наявність в напівтвердих муфтах пружних елементів створює певну гнучкість, але не рухливість, в місці з'єднання валів і тим самим дозволяє дещо зменшити вплив дефектів сполучення валів. Проте, оскільки ці муфти, також як і жорсткі, призначені для передачі великих зусиль від одного механізму до іншого, то в силу їх технологічних особливостей

діагностики дефектів в таких муфтах не сильно відрізняється від діагностики дефектів в жорстких муфтах. Дефект типу «маятник» для напівжорстких муфт не є критичним, і в вібраційних сигналах він сильно не проявляється. У цьому полягає найбільша відмінність напівжорсткої муфти, від жорсткої муфти. Набагато гірше гнучким елементом лінзової муфти компенсується дефект типу «коліно». Якщо муфта має тільки одну «хвилю» компенсатора, то загальний вплив «коліна» на вібраційний стан опорних підшипників агрегату знижується не дуже істотно. В результаті в напівжорсткій муфті, як і жорсткій муфті, треба діагностувати дефект муфти типу «коліно», використовуючи для цього спектри вібраційних сигналів. Методика діагностування цього дефекту не відрізняється від аналогічної процедури в жорсткій муфті і описана вище [7].

1.2.3 Дефекти торсіонних і пружинних муфт

Особливості діагностики дефектів по вібраційним параметрам агрегатів, оснащених торсіонними і пружинними муфтами, можуть бути віднесені до напівжорстких муфт. Для з'єднання роторів різної маси іноді використовують торсіонні муфти. Прикладом використання торсіонної муфти є приєднання до турбогенератора електромашинного збудника – машини постійного струму невеликої потужності. У торсіонній муфті основним сполучним елементом є довгий стрижень, що працює на скручування. Такий тип муфти, за своїми властивостями, схожий на напівжорстку муфту і діагностується аналогічно. Крім того, у торсіонній муфті буває свій специфічний дефект, що приводить до різкого зростання осьової вібрації. Виникає він при одночасній появі двох обставин [7]:

1. Фланець торсіона, який закріплюється на валу генератора, повинен бути змонтований не перпендикулярно, а з невеликим перекосом до площині монтажу. Або ж торсіон повинен бути зігнутий до монтажу. Саме головне полягає в тому, що торсіон повинен обертатися в зігнутому стані, повинен мати місце дефект типу «маятник».

2. Зовнішній підшипник збудника, до якого кріпиться торсіон, повинен бути зміщений з ідеальною лінії монтажу валу генератора в вертикальному або поперечному напрямках.

Сукупність двох таких дефектів при монтажі збудників турбоагрегатів буває досить часто. Для усунення такого дефекту необхідно перевірити правильність монтажу лінії вала агрегату або правильно змонтувати торсіонний вал [7].

Діагностика дефектов пружинних муфт. Це один з різновидів з'єднувальних муфт, в якій вали об'єднуються за допомогою окремих плоских пружинних пластин. Іноді використовуються фігурна пружинна стрічка. Ця стрічка поперемінно проходить через пази напівмуфт. Поряд зі стандартними дефектами в такій муфті буває специфічний дефект, викликаний поломкою або заклинювання пружинних елементів [7].

1.3 Вимоги до матеріалу

До матеріалу деталі «напівмуфта» пред'являються наступні вимоги: оскільки деталь знаходиться в зацепленні з валом то її матеріал повинен забезпечувати необхідні міцність та в'язкість а також холодноламкість; властивості матеріалу та його структура повинні бути рівними по всьому перерізу; потрібна відносно низька вартість і недифузність легуючих елементів, що входять до складу сталі для напівмуфти, також важливим є те, що матеріал не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах. Важливе значення має оброблюваність різанням і шліфуємість. Тому матеріал з якого виготовлена напівмуфта, повинен мати високий рівень циклічної міцності, яка оцінюється межею втоми матеріалу. Сталь повинна мати гарну в'язкість для забезпечення високого опору процесам руйнування, тобто не повинна мати схильністю до крихкого руйнування.

Такими властивостями володіють конструктивні поліпшувані сталі, що містять 0,3-0,5 % вуглецю і легуючі елементи. Для ліквідування оберненої

крихкості сталі легують молібденом або вольфрамом. Комплексне легування поліпшених сталей хромом, нікелем і молібденом дозволяє значно підвищувати прокалюваність сталі, міцність і в'язкість.

Матеріал для деталі «напівмуфта компресора» повинен відповідати вимогам за механічними й технологічними властивостями:

- межа текучості – 780 МПа;
- КСУ – 68 Дж/см²;
- прогартованість – не менше 30 мм;
- твердість по перетину не менше – HRC 28 – 30 [5].

Залежно від вимог, що пред'являються до напівмуфт, їх виготовляють зі сталей, чавунів та алюмінієвих сплавів. Допускається виготовляти напівмуфти із сірого чавуну СЧ 15...32, наприклад, марки СЧ 21-40 або високоміцного чавуну марки ВЧ-35. Муфта сильфонна сполучна складається з пари алюмінієвих втулок і однієї втулки зі сталі, що нагадує пружину, та зробленої з нержавіючої сталі. Внаслідок чого, такі муфти володіють хорошими показниками жорсткості при крученні і вигині. Сильфонні з'єднувальні муфти відшкодовують неспіввісність, осьове і радіальне биття приводів, це підвищує довговічність вузлів устаткування. Муфту спіральну виготовляють із цілісного шматка алюмінію, центральна частина муфти має точне поперечне розпилювання. Найбільш широко вживаними матеріалами для деталі «напівмуфта» є сталі. Для напівмуфт не відповідального призначення застосовують вуглецеві сталі типу Ст.5 (кування), сталі 30, 40, 45, 50 або ливарні – сталі 20Л, 25Л, 30Л, 35Л (лиття). Для більш відповідальних деталей використовують леговані сталі 15Х, 20Х (із цементациєю робочих поверхонь); термополіпшувані сталі 35Х, 40Х, 40ХН; сталі 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ (із нітроцементациєю робочих поверхонь). Напівмуфти особливо відповідального призначення виготовляють із сталей 20Х2Н4А, 40ХН2МА, 38Х2МЮА (із застосуванням азотування робочих поверхонь) [2].

Висновки

Муфтами та напівмуфтами в техніці називають пристрої, які служать для з'єднання кінців валів, стрижнів, труб, електричних проводів і іншого. Досить часто муфти і напівмуфтами застосовуюють для з'єднання валів.

Деталь «напівмуфта» є однією зі складових компресора 294 ГЦ 2–460/18,5–41 ГПА. Дана деталь закріплюється на валу ротора зліва за допомогою двох шпонок і служить для передачі крутного моменту на торсійний вал до маслососа. Напівмуфта знаходиться на валу ротора і перебуває в зубчастому зачепленні з торсійним валом маслососа справа, який в свою чергу виробляє мастило підшипників і ущільнень ГПА.

В процесі роботи виріб не піддається складним несучим навантаженням, однак оскільки він знаходиться в зубчастому зчепленні з торсійним валом, його матеріал повинен забезпечувати високу конструкційну міцність та в'язкість.

Для різних типів муфт і напівмуфт по вібраційних параметрам можуть бути діагностовані різні дефекти, це пов'язане з особливостями конструктивного виконання муфт і напівмуфт.

До матеріалу деталі «напівмуфта» пред'являються наступні вимоги: оскільки деталь знаходиться в зачепленні з валом то її матеріал повинен забезпечувати необхідні міцність та в'язкість а також холодноламкість; властивості матеріалу та його структура повинні бути рівними по всьому перерізу; потрібна відносно низька вартість і недифузність легуючих елементів, що входять до складу сталі для напівмуфти, також важливим є те, що матеріал не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах. Важливе значення має оброблюваність різанням і шліфуємість. Тому матеріал з якого виготовлена напівмуфта, повинен мати високий рівень циклічної міцності, яка оцінюється межею втоми матеріалу. Сталь повинна мати гарну в'язкість для забезпечення високого опору процесам руйнування, тобто не повинна мати схильністю до крихкого руйнування.

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

2.1 Виготовлення напівмуфт

У роботі [9] розглянуто детальне виготовлення напівмуфт, які отримуються з циліндричними розточуваннями (тип 1) і конічними розточуваннями (тип 2) двох виконань: на довгі та короткі кінці валів. Допускається з'єднання напівмуфт різних типів у різних виконаннях з різними діаметрами посадочних отворів для одного значення крутного моменту. При постійному напрямі обертання і помірно навантажених валах ($\tau \leq 15 \text{ МПа}$) напівмуфти саджають на гладкі циліндричні кінці валів по перехідних посадках типу H7/k6, H7/m6. При реверсивній роботі, а також при сильно навантажених валах ($\tau > 15 \text{ МПа}$) застосовують посадку H7/n6. Установку напівмуфт на циліндричні шліцьові кінці валів застосовують, якщо при розрахунку шпонкового з'єднання довжина посадочного отвору більше $1,5d$ (d – діаметр валу). Посадку по центруючому зовнішньому діаметру D приймають H7/js6. Установка напівмуфт на циліндричні кінці валів з натягом і їх зняття викликають затруднення, які не виникають на конусних кінцях. Затягуванням напівмуфт на конусні кінці валів можна створити значний натяг в з'єднанні і забезпечити точне радіальне і кутове положення напівмуфти відносно валу. Тому при великих навантаженнях, роботі з поштовхами, ударами і при реверсивній роботі бажано напівмуфти встановлювати на конусні кінці валів, незважаючи на більшу складність їх виготовлення.

Автори роботи [10] наводять стандарти при виготовленні напівмуфт для їх розмірів, які наведено в таблиці 2.1, а також приклад схематичного зображення напівмуфти (рис. 2.1).

Таблиця 2.1

Розміри напівмуфт [10]

Момент [Т], Нм	d	D	d_1	d_2	d_3	b	l	l_1	l_2	l_3	l_4	r
11,2	8;9;10	16	15	3	4	10	20	32	8	15	12	4
22,4	10;11	20	18	4	5	12		35	10			5
	12						25	40	12	20	16	
45	12;14	25	21	5	6	14		44		17	13	6
71	16;18	32	28	6	7	18	28	51	14	18	12	7
140	19	40	34	8	8	22		56	16	16	10	8
	20;22						64	24		18		
280	24	50	42	10	10	28	36	70	19	20	12	10
	25;28							76		26	18	
560	30;32;35	60	53	12	13	31	58	102	28	42	28	13
1120	38	75	63	16	16	42		112	35	38	23	16
	40;42						82	136		62	46	

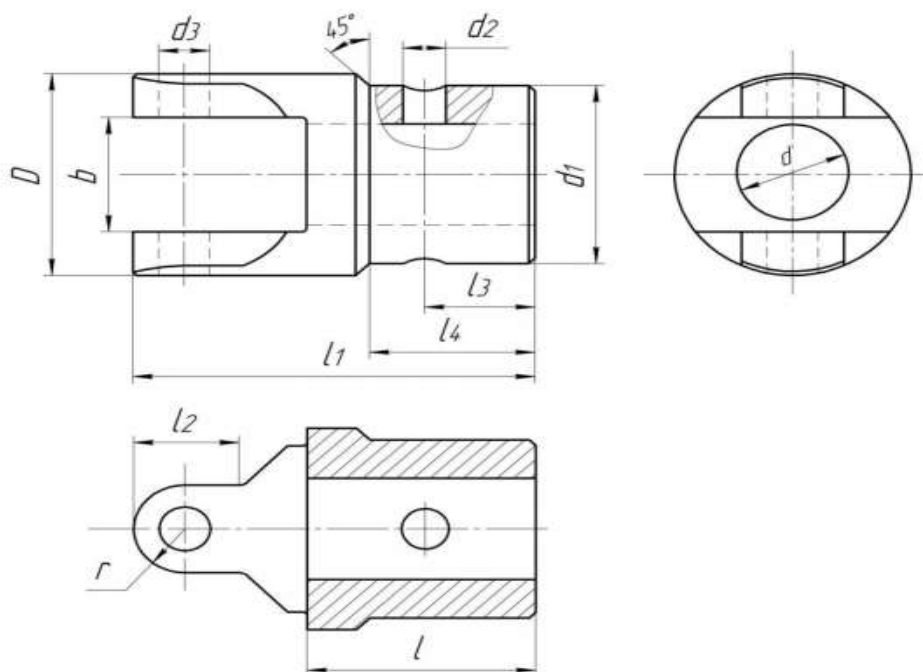


Рисунок 2.1 – Напівмуфта

2.2 Випробування напівмуфти в режимі реверсу

В роботі [9] розглянуто випробування напівмуфти в режимі реверсу, тобто в разі стискання канатів. Для оцінки її жорсткості вивчали жорсткість за стиску дослідного зразка каната діаметром $d_k = 6$ мм конструкції (6×19 + о.с.) (діаметр дротин $\delta = 0,38$ мм, довжина $L_k = 33$), що встановлювався в модельному зразку муфти (рис. 2.2). Канат затискали одним кінцем у шпindelному патроні токарно-гвинторізного верстата, а іншим кінцем – у патроні, встановленому в пінолі задньої бабки (рис. 2.3-2.4). Деформацію каната Δ заміряли індикатором годинникового типу, а зусилля стиску – за рахунок визначення моменту на маховику задньої бабки. Показник тертя в спряженнях бабки визначали попередньо за рахунок стиску тарувальної пружини жорсткістю $c = 0,35$ кг/мм, який становив 38.

Перерахунок колового зусилля на маховику бабки на осьове зусилля стискання каната виконували за відомими залежностями з теорії гвинтової пари.

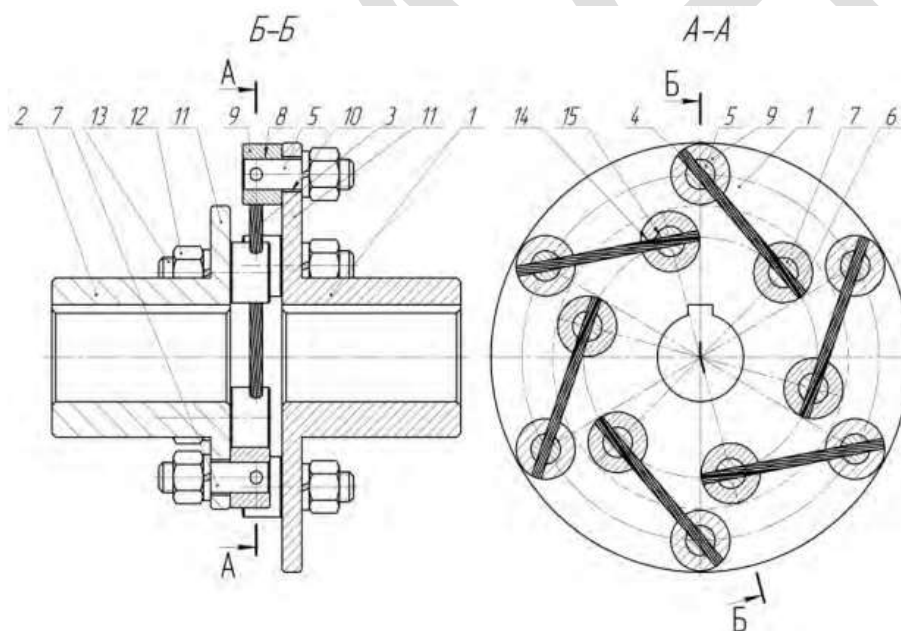


Рисунок 2.2 – Схема муфти з торцевим встановленням прямих контактів [9]

Результати експерименту наочно демонструє побудований на рисунку 2.5 графік, з якого видно, що канат за стиску має власну нелінійну «м'яку» характеристику, що апроксимується рівнянням (2.1).

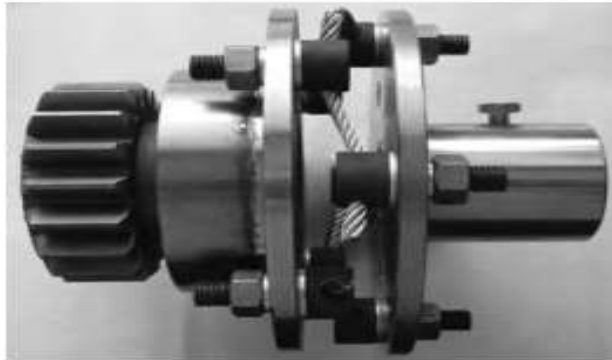


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд модельної муфти [9]



Рисунок 2.4 – Визначення жорсткості каната за стиску [9]

$$F_{ст} = -31,32\Delta^2 + 215,17\Delta + 425,79 \quad (2.1)$$

Для отримання характеристики муфти, яка працює у режимі реверсу (закручування в напрямку стиску канатів), розглянемо передавання нею обертового моменту (рис. 2.6).

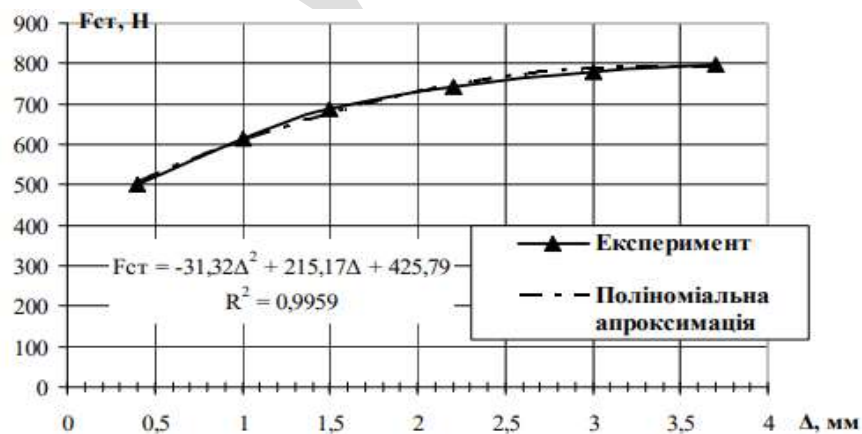


Рисунок 2.5 – Залежність пружної сили сталевго каната від деформації за стиску [9].

При цьому на затискному елементі 1, що закріплений у фланці ведучої напівмуфти (на рисунку не показаний), виникає сила $F_{ст}$, яка стискає канат і передається на кріпильний елемент 2, що закріплений у фланці веденої напівмуфти, створюючи на ньому обертальний момент. Одним з основних параметрів характеристик муфти є кут монтажного зміщення напівмуфт ξ , що пов'язаний з іншими геометричними параметрами (трикутник OAB) залежністю (2.2):

$$\cos \xi = \frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - L_k^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} \quad (2.2)$$

У разі деформування каната на величину Δ_i значення кута ξ_i становитиме:

$$\xi_i = \arccos \left(\frac{0,25(D_{зв}^2 + D_{вн}^2) - (L_k - \Delta_i)^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} \right) \quad (2.3)$$

А пружний момент муфти в режимі реверсу набуде значення:

$$T_{mpi} = \frac{zF_{ст}D_{зв}D_{вн} \sin \xi_i}{4(L_k - \Delta_i)} \quad (2.4)$$

Кут закручування муфти φ_i при цьому становитиме:

$$\varphi_i = \xi - \xi_i \quad (2.5)$$

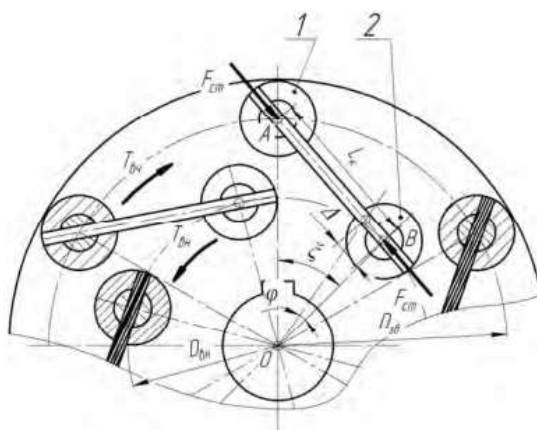
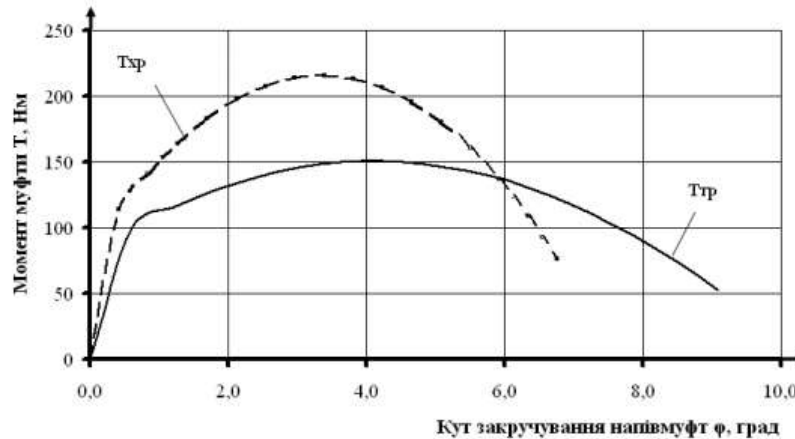


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема муфти в режимі реверсу [9]

Числове моделювання за отриманими формулами виконували для муфти (рис. 2.2), оснащеної дослідженими канатами, у якій $z = 4$, $D_{зв} = 145$ мм, $D_{вн} = 95$

мм. Кут монтажного зміщення на початковому етапі прийняли таким, що дорівнює оптимальному з погляду зниження навантаженості канатів $\xi F = 49^\circ$ [11]. Результат моделювання, а саме характеристику муфти під час роботи в режимі реверсу – залежність її пружного моменту $T_{тр}$ від кута закручування ϕ показано на рисунку 2.7 суцільною лінією.



Рисунк 2.7 – Характеристики муфт у режимі реверсу [9].

Для порівняння (рис. 2.7) штриховою лінією показана характеристика муфти з хордальним розташуванням канатів [12] у разі її закручування у напрямку стиску канатів, що отримана в інших роботах. Характеристика муфти з тангенціальним розташуванням канатів є пологішою, що свідчить про більшу перспективність таких муфт для захисту приводів від перевантажень. На користь цього твердження свідчить також наявність на характеристиці муфти ділянки квазінульової жорсткості. Проте муфта з тангенціальними канатами в цьому варіанті має на 30 % меншу навантажувальну здатність (момент $T_{тр} = 150$ Нм) порівняно з муфтою, оснащеною канатами хордального розташування (момент $T_{хр} = 215$ Нм). Під час роботи муфти з тангенціальним розташуванням канатів у режимі аверсу канати від натягу силою F_n матимуть видовження Δ :

$$\Delta_l = \frac{F_n L_k}{E_k^p A_\Sigma}, \quad (2.6)$$

де $E_k = (1,0 \dots 1,2) \times 105$ МПа – модуль пружності каната при розтягу [13]
 A_Σ – сумарна площа дротин каната.

Кут ξ_i при цьому набуває величини:

$$\xi_i = \arccos \left(\frac{0,25(D_{\text{вн}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - (L_k + \Delta_i)^2}{0,5D_{\text{вн}}D_{\text{вн}}} \right). \quad (2.7)$$

Відповідно пружний момент муфти в режимі аверсу становитиме:

$$T_{\text{маі}} = \frac{zF_{\text{см}}D_{\text{вн}}D_{\text{вн}}\sin\xi_i}{4(L_k + \Delta_i)}. \quad (2.8)$$

Кут закручування муфти φ_i дорівнюватиме:

$$\varphi_i = \xi_i - \xi. \quad (2.9)$$

Отримана характеристика муфти з тангенціальним розташуванням канатів під час її роботи в режимі аверсу показана на рисунку 2.8 суцільною лінією, а штриховою лінією – характеристика муфти з хордальним розташуванням канатів. Графік свідчить, що муфта з тангенціальним розташуванням канатів, працюючи у режимі аверсу, за рівних розмірів також є піддатливішою, ніж муфта з хордальним розташуванням канатів, що уможливорює розроблення рекомендацій щодо раціонального використання кожного типу муфт.

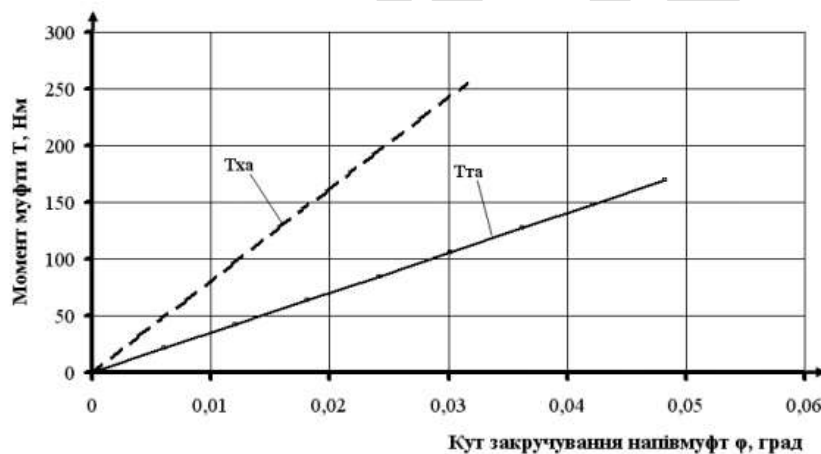


Рисунок 2.8 – Характеристики муфт у режимі аверсу [9]

Далі досліджували вплив величини кута монтажного зміщення ξ на характеристику муфти в режимі реверсу. Результати моделювання подано на рисунку 2.9. З аналізу наведеного графіка можна зробити висновок, що кут $\xi_F = 49^\circ$ для муфти, що працює в режимі реверсу, забезпечує найбільшу навантажувальну здатність (найбільший момент $T_{\text{тр}} = 150$ Нм). Збільшення кута ξ

порівняно зі значенням $\xi_F = 49^\circ$ незначно знижує її навантажувальну здатність (якщо $\xi = 65^\circ$, $T_{тр} = 148$ Нм, $\xi = 80^\circ$ $T_{тр} = 140$ Нм) та збільшує кут закручування ϕ . Але зменшення кута ξ порівняно зі значенням $\xi_F = 49^\circ$ спричиняє значне зниження навантажувальної здатності та розширення квазінульової ділянки. Так, зниження кута монтажного зміщення муфт до $\xi = 25^\circ$ спричиняє зниження моменту муфти на 20 % (з 150 до 120 Нм) та збільшення кута закручування ϕ з $8,5^\circ$ до $12,5^\circ$, а подальше зниження значення кута до величини $\xi = 20^\circ$ приводить до зниження моменту муфти на 30 % (з 150 до 100 Нм) та збільшення кута закручування ϕ з $8,5^\circ$ до 15° .

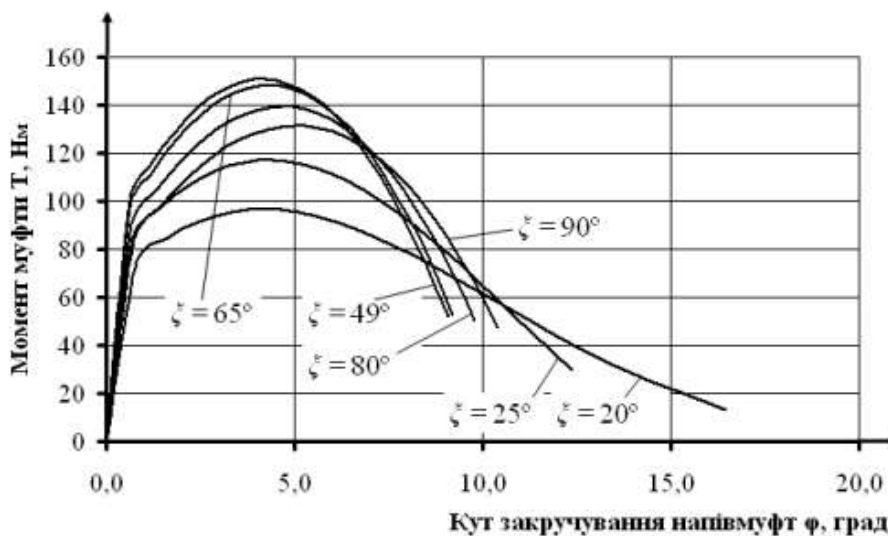


Рисунок 2.9 – Вплив кута монтажного зміщення ξ на характеристику муфти [9]

Аналогічно побудовано графіки (рис. 2.10), що ілюструють вплив на характеристику муфти кута монтажного зміщення напівмуфт ξ під час роботи в режимі аверсу. З наведеного на рисунку 3.10 матеріалу можна зробити висновок, що жорсткість муфти зростає в інтервалі значення кута $\xi = 20^\circ - 35^\circ$, а потім починає знижуватися, і найпіддатливішою муфта буде, якщо кут монтажного зміщення напівмуфт $\xi = 90^\circ$. Цікаво, що характеристики муфти за $\xi = 20^\circ$ та $\xi = 49^\circ$ практично збігаються.

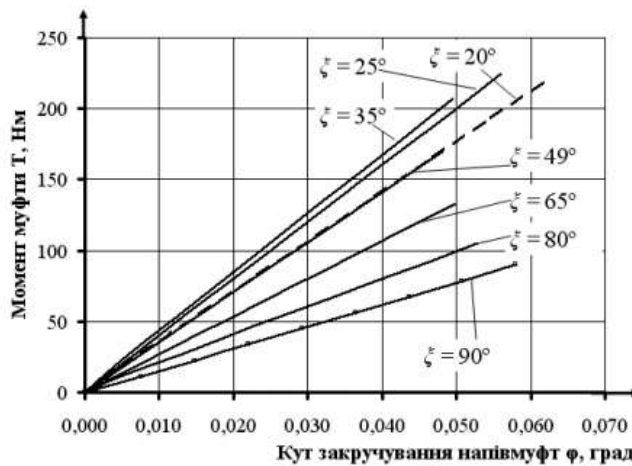


Рисунок 2.10 – Ілюстрація етапів процесу затискання каната [9]

З виконаних досліджень автори [9] зробили висновки:

1. Встановлено, що муфти з тангенціальним розташуванням канатів, працюючи в режимах аверсу та реверсу, за рівних розмірів є піддатливішими, ніж муфти з хордальним розташуванням канатів.

2. У режимі аверсу (в разі роботи канатів на розтяг) муфти обох типів є жорсткими і можна рекомендувати встановлювати їх у приводах, від яких вимагається висока кінематична точність.

3. У режимі реверсу (у разі роботи канатів на стиск) муфта з торцевим розташуванням канатів має пологішу характеристику, ніж муфта з хордальним розташуванням канатів, та розширену ділянку квазінульової жорсткості.

Встановлено [9] що під час роботи муфти з тангенціально розташованими канатами в режимі аверсу її крутильна жорсткість зростає в інтервалі значення кута $\xi = 20^\circ - 35^\circ$, а у разі його подальшого збільшення починає знижуватися, і найбільшу піддатливість муфта має, якщо значення кута $\xi = 90^\circ$.

2.3 Призначення та види напівмуфт

В літературі [3, 14] детально описано для чого застосовуються муфти і напівмуфти.

Муфти призначені для передачі механічної енергії – крутного моменту між двома сполученими валами. Залежно від умов експлуатації муфти можуть сполучати вали постійно, або періодично за допомогою оператора або досягши певних умов експлуатації. У роботі механічних систем можливі випадкові або періодичні коливання передаваного моменту, що негативно позначається на динаміці машин. Для згладжування змін крутного моменту муфта повинна мати пружні властивості, що дозволяють демпфувати (пом'якшувати) випадкові зміни моменту.

Приводними муфтами (зазвичай просто муфтами) називаються пристрої, що служать для кінематичного і силового зв'язку валів в приводах машин і механізмів. Муфти передають з одного валу на інший обертаючий момент без зміни його величини і напрямку, а також компенсують монтажні неточності і деформації геометричних осей валів, роз'єднують і сполучають вали без зупинки двигуна, оберігають машину від поломок в аварійних режимах, в деяких випадках поглинають поштовхи і вібрації, обмежують частоту обертання.

Можливі погрішності при монтажі валів (неспіввісність валів) показані на рисунку 2.11 [3]. Вказані погрішності можуть існувати одночасно [14].

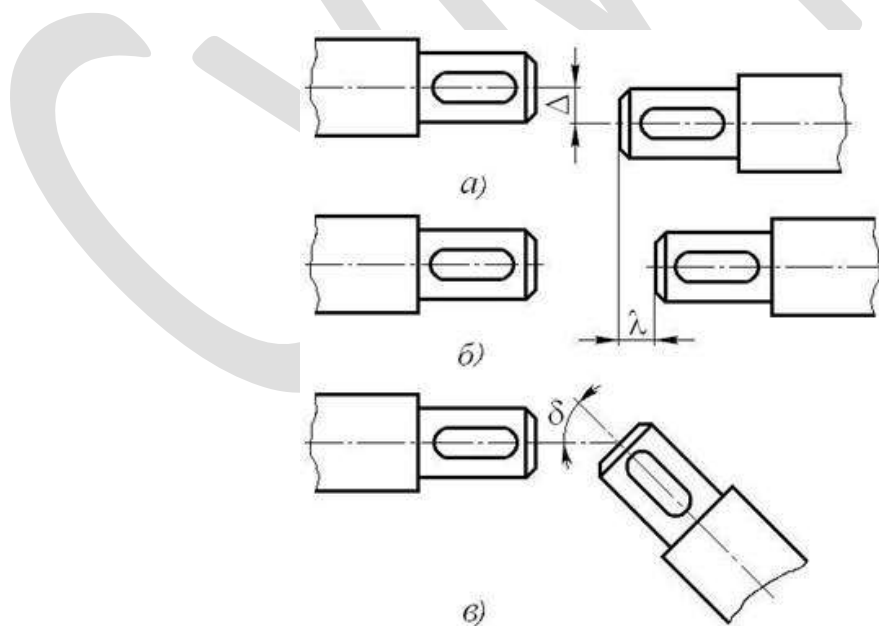


Рисунок 2.11 – Неспіввісність валів: а – радіальне зміщення Δ ; б – осьове зміщення λ ; в – кутове зміщення δ [14]

За принципом дії муфти підрозділяють на чотири [14].

- 1) нерозчіплювані (не допускаючи роз'єднання валів при роботі машини);
- 2) керовані (що допускають можливість управління муфтою);
- 3) самодіючі (автоматично спрацьовуючі в результаті зміни заданого режиму роботи);
- 4) інші (усі муфти, що не входять в перші три класи).

Класи муфт (окрім четвертого) підрозділяють на групи – механічні, гідродинамічні, електромагнітні;

підгрупи – жорсткі, компенсуючі, пружні, запобіжні, обгінні та ін.;

види – фрикційні, з руйнівним елементом та ін.;

конструктивне виконання – кулачкові, кулькові, зубчасті, фланцеві, втулково-пальцьові та ін.

У загальному випадку муфта складається з ведучої і веденої напівмуфт і сполучних елементів [15]. У механічних муфтах в якості сполучного елемента використовують тверді (жорсткі або пружні) тіла. У гідродинамічних муфтах функції сполучного елемента виконує рідина, в електромагнітних – електромагнітне поле.

Небезпечні перевантаження можуть бути ослаблені введенням в привід запобіжних муфт - кулачкові, кулькові, фрикційні (конічні або дискові) муфти. Запобіжні муфти автоматично розмикають передачу при досягненні моментом граничного значення. Часті запуски і зупинки машин без виключення двигуна здійснюються за допомогою фрикційних, дискових муфт.

При передачі моменту в одному напрямі застосовують обгінні муфти (муфти вільного ходу). Найбільш поширені роликові обгінні муфти.

При проектуванні муфт завдання зводиться до підбору муфти по нормалях і стандартах. Основним показником при підборі муфти є діаметр валів, що сполучаються, а при перевірці – обертаючий момент, частота обертання [3, 14].

Автори роботи [16] розглядають сполучні напівмуфти, які зазвичай виготовляються з сірого чавуну СЧ 15...32, заготівля – литво, твердість після усіх технологічних операцій не більше НВ 230 – 255 [17].

В роботі [18] приведені рекомендації по вибору пружних, жорстких компенсуючих і шарнірних муфт та напівмуфт. Дана методика перевірочних розрахунків муфт. Містяться необхідні довідкові дані по пружних втулочнопальцевих муфтах, муфтам з торообразною пружною оболонкою, муфтам з гумовою зірочкою, а також зубчастим, ланцюговим і малогабаритним шарнірним муфтам.

Як матеріали для муфти пружної втулково-пальцевої застосовують: для напівмуфт сірий чавун СЧ 20 за ГОСТом 1412-79, сталь 30, сталь 30Л. Матеріал пальців – сталь 45 за ГОСТом 1050-74 з твердістю 241 – 285 НВ, а втулок – гума з межею витривалості не менше 8 МПа [18].

Муфта з гумовою зірочкою за ГОСТом 14084-93 складається з двох однакових напівмуфт, що мають на фланцях торцеві кулачки, і пружного елемента, виконаного у вигляді зірочки. Матеріал напівмуфт : сталь 35 (для муфт з $D = 25-40$ мм) або чавун СЧ 21-40 (для муфт з $D = 50-160$ мм). Матеріал зірочки: гума бензомаслостійка марки А м'яка по ГОСТ 7338-65. Муфти пружні із зірочкою порівняно прості по конструкції, мають малі габаритні розміри і матеріаломісткість [18].

Зубчасті муфти – найбільш поширений вид жорстких компенсуючих муфт. Їх широко застосовують для з'єднання валів, особливо у важкому машинобудуванні, де передають великі моменти і ускладнена точна установка вузлів. Зубчаста муфта складається з двох обойм з внутрішніми зубами, що знаходяться в зачепленні відповідно з двома зубчастими втулками і із зовнішніми зубами. Зубчасті сполучення муфт працюють в масляній ванні. У муфтах передбачені отвори для зливу і заливання в них масла, ущільнення для герметизації [18].

У шарнірних муфтах використаний принцип роботи просторового шарніра Гука. Вони служать для передачі обертаючого моменту, між валами, що мають велике кутове зміщення осей (до $40-50^\circ$), яке може змінюватися в процесі обертання муфти. Ці муфти застосовують в широкому діапазоні навантажень – від $12,5$ Н·м до 30000 Н·м). Напівмуфти шарнірних муфт повинні виготовлятися у

2 виконаннях: 1 – на довгі кінці валів; 2 – на короткі кінці валів. Матеріал напівмуфт – сталь 20Х по ГОСТ 4543. Допускається виготовлення напівмуфт з інших матеріалів з механічними властивостями не нижче, ніж у сталі марки 20Х після термообробки. Хрестовина виконується із сталі 40Х, ШХ12 або ШХ15. Штифти і втулки виготовляються із сталі 40Х, твердість – 35 – 40 HRC [18].

Стаття [19] відноситься до галузі машинознавства, а саме до теорії механізмів та деталей машин. У ній, за рахунок виконання теоретичних досліджень, показана недосконалість структури відомих конструкцій профільних пружно-запобіжних муфт. Встановлено, що основні недоліки цих пристроїв мають своєю причиною структурну недосконалість їх механізмів. У роботі запропоновано удосконалити структурні параметри згаданих механізмів за рахунок оснащення їх канатними елементами, що сполучають ролики з ведучими напівмуфтами. Встановлено, що таке удосконалення повністю ліквідує надлишкові зв'язки, а відтак дозволяє забезпечити самоустановку деталей муфт. Це може стати причиною забезпечення рівномірності розподілу навантаження та зносу роликів і підвищення за рахунок цього безвідмовності [19].

Сучасні вимоги до компактності обладнання різних галузей промисловості призводять до необхідності підвищення навантажувальної здатності його деталей та складальних одиниць. До найбільш напружених із них належать запобіжні муфти і напівмуфти. Ці вироби часто будують, використовуючи принцип передачі навантаження за рахунок тертя, що обумовлює великі розміри та низький ресурс цих пристроїв. Тому останнім часом збільшується доля запобіжних муфт і напівмуфт, що використовують принцип зачеплення [20-21].

З огляду на викладене, удосконалення запобіжних муфт і напівмуфт є важливою задачею у розрізі підвищення експлуатаційної безвідмовності механічного обладнання, що можливо виконати, зокрема, застосуванням пружних та комбінованих пружно-запобіжних муфт і напівмуфт [22].

Висновки

У процесі написання даної кваліфікаційної роботи бакалавра, було проведено ретельний огляд літератури, статей, навчальних матеріалів та патентів.

Муфти призначені для передачі механічній енергії – крутного моменту між двома сполученими валами. Залежно від умов експлуатації муфти можуть сполучати вали постійно, або періодично за допомогою оператора або досягши певних умов експлуатації. У роботі механічних систем можливі випадкові або періодичні коливання передаваного моменту, що негативно позначається на динаміці машин. Для згладжування змін крутного моменту муфта повинна мати пружні властивості, що дозволяють демпфувати (пом'якшувати) випадкові зміни моменту.

Напівмуфти в режимі реверсу, тобто в разі стискання канатів. Для оцінки її жорсткості вивчали жорсткість за стиску дослідного зразка каната діаметром $d_k = 6$ мм конструкції (6×19 + о.с.) (діаметр дротин $\delta = 0,38$ мм, довжина $L_k = 33$), що встановлювався в модельному зразку муфти. Канат затискали одним кінцем у шпindelльному патроні токарно-гвинторізного верстата, а іншим кінцем – у патроні, встановленому в пінолі задньої бабки. Деформацію каната Δ заміряли індикатором годинникового типу, а зусилля стиску – за рахунок визначення моменту на маховику задньої бабки. Показник тертя в спряженнях бабки визначали попередньо за рахунок стиску тарувальної пружини жорсткістю $c = 0,35$ кг/мм, який становив 38.

У роботі розглянуто детальне виготовлення напівмуфт, які отримуються з циліндричними розточуваннями і конічними розточуваннями двох виконань: на довгі та короткі кінці валів. Допускається з'єднання напівмуфт різних типів у різних виконаннях з різними діаметрами посадочних отворів для одного значення крутного моменту.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Вибір оптимального матеріалу для деталі «напівмуфта»

При виборі сталей для роботи необхідно враховувати специфічні умови служби конструкції, забезпечення її працездатності і ресурсу, так і вимоги економічності матеріалів, пов'язані з зменшенням вмісту нікелю і інших дорогих легуючих елементів, а також необхідність уніфікації матеріалів і скорочення кількості застосовуваних марок сталі. Певну складність являє вибір необхідного рівня в'язкості і методів оцінки в'язкості [23].

Деталь «напівмуфта компресора» за заводським варіантом виготовляється зі сталі 20X2H4A – сталь конструкційна низьколегована, високої якості. Ця сталь застосовується для шестірен, вал-шестірен, пальців та інших цементуємих особливо відповідальних високонавантажених деталей, до яких пред'являються вимоги високої міцності, пластичності і в'язкості серцевини й високої поверхневої твердості, що працюють під дією ударних навантажень або при негативних температурах.

Хімічний склад сталі наведено в таблиці 3.1. Механічні властивості при кімнатній температурі сталі 20X2H4A наведено в таблиці 3.2. Механічні властивості в залежності від температури відпуску в таблиці 3.3.

Сталь 20X2H4A це конструкційна низьколегована високоякісна сталь, що містить близько 0,2% вуглецю, 2% хрому та 4% нікелю, решта залізо та домішки.

Таблиця 3.1

Хімічний склад сталі 20X2H4A, % [24]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,16– 0,22	0,17– 0,37	0,30– 0,60	3,25– 3,65	До 0,025	До 0,025	1,25– 1,65	До 0,3

Таблиця 3.2

Механічні властивості сталі 20X2H4A при T= 20 ° C [24]

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	КП	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ , %	КСУ (Дж / см ²)	НВ, не більше
Пруток. Гартування 860 °С, масло. Відпуск 180°С, масло	15	-	1080	1270	9	45	78	-
Пруток. Гартування 810 °С, масло. Відпуск 200 °С, масло.	50	-	1050	1220	12	45	118	360
Поковки. Гартування + Відпуск	500-800	720	720	860	11	50	60	255
	300-500	740	740	860	12	50	60	262
	500-800							
	100-300	760	760	880	12	50	60	262
	300-500							
	100-300	780	780	900	12	50	60	262
300-500								
500-800	820	820	940	12	50	70	269	
300-500								

Таблиця 3.3

Механічні властивості сталі 20X2H4A в залежності від температури відпуску [24]

Температура відпуску, °С	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (Дж / см ²)	НВ
Гартування 850 °С, масло						
200	1360	1500	7	56	120	-
300	1280	1400	7	60	100	-
400	1140	1300	7	63	120	-
500	970	1170	10	67	220	-
600	790	1000	11	72	235	-

Через дефіцитності нікелю і його вартість цю сталь замінюють іншими легованими сталями. Але виходячи із умов роботи матеріалу, який не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах, треба обирати сталь із вмістом нікелю. До таких сталей з меншою кількістю нікелю відноситься сталь 40ХН2МА (40ХНМА) [25].

Тому, виходячи з умов експлуатації та технічних умов, заводським варіантом для виготовлення виробу є сталь 20Х2Н4А, яку ми замінюємо на – 40ХН2МА. Вона застосовується для виготовлення колінчастих валів, клапанів, шатунів, кришок шатунів, відповідальних болтів, шестірен, напівмуфт та муфт, дисків та інших важко навантажених деталей.

Оскільки деталь знаходиться в зацепленні з валом, то її матеріал повинен забезпечувати необхідні міцність та в'язкість. Для виготовлення деталі пропоную застосовувати леговану поліпшувану сталь 40ХН2МА. Хімічний склад сталі наведено в таблиці 3.4. Механічні властивості при кімнатній температурі сталі 40ХН2МА наведено в таблиці 3.5. Механічні властивості в залежності від температури відпуску в таблиці 3.6. Показники ударної в'язкості наведені в таблиці 3.7. Механічні властивості сталі в залежності від перетину в таблиці 3.8.

Сталь 40ХН2МА – конструкційна низьколегована високоякісна сталь, що містить близько 0,4% вуглецю, 1% хрому та молібдену, 2% нікелю, решта залізо та домішки.

Таблиця 3.4

Хімічний склад сталі 40ХН2МА [23-24]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,37– 0,44	0,17– 0,37	0,50– 0,80	1,25– 1,65	До 0,025	До 0,025	0,60– 0,90	0,15– 0,25	До 0,3

Сталь 40ХН2МА має низький поріг холодноламкості, що забезпечує легування її нікелем. Крім того дана сталь є високоякісною і має низький вміст шкідливих домішок та неметалічних включень, що також сприяє збільшенню її в'язкості.

Таблиця 3.5

Механічні властивості при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ сталі 40ХН2МА [24]

Стан поставки, режими термообробки	Переріз, мм	КП	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ , %	КСУ (Дж / cm^2)	НВ, не більше
Пруток. Гартування 850 $^{\circ}\text{C}$, масло. Відпуск 620 $^{\circ}\text{C}$, вода	25	-	930	1080	12	50	78	-
Пруток. Гартування 850 $^{\circ}\text{C}$, масло. Відпуск 620 $^{\circ}\text{C}$, масло.	25	-	835	980	12	55	98	-
Поковки. Гартування + Відпуск	500-800	440	440	635	11	30	39	197- 235
	300-500	490	490	655	12	35	49	212- 248
	500-800				11	30	39	
	100-300	540	540	685	13	40	49	223- 362
	300-500				12	35	44	
	100-300	590	590	735	13	40	49	235- 277
300-500	12				35	44		
500-800	10				30	39		
100-300	640	640	785	12	38	49	248- 293	
300-500				11	33	44		

Таблиця 3.6

Механічні властивості сталі 40ХН2МА в залежності від температури
відпуску [24]

Температура відпуску, $^{\circ}\text{C}$	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (Дж / cm^2)	НВ
Гартування 850 $^{\circ}\text{C}$, масло						
200	1600	1750	10	50	59	525
300	1470	1600	10	50	49	475
400	1240	1370	12	52	59	420
500	1080	1170	15	59	88	350
600	860	960	20	62	147	275

Таблиця 3.7

Ударна в'язкість сталі 40ХН2МА КСУ, (Дж/см²) [24]

T = +20°C	T = -40°C	T = -60°C	Термообробка
103	93	59	Гартування 860°C, масло. Відпуск 580°C

Таблиця 3.8

Механічні властивості сталі 40ХН2МА в залежності від перетину [24]

Перетин, мм	Місце вирізки зразка	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_4 (%)	ψ %	КСУ (Дж/см ²)	HRС _E
Пруток. Гартування 850 ° С, масло. Відпуск 620 ° С							
40	Ц	880	1030	14	57	118	33
60	Ц	830	980	16	60	127	32
80	1 / 2R	730	880	17	61	127	29
100	1 / 2R	670	850	19	61	127	26
120	1 / 3R	630	830	20	62	127	25
Гартування 850 ° С, масло. Відпуск 540-660 ° С							
до 16	Ц	1000	1200-1400	9	-	90	-
16-40	Ц	900	1100-1300	10	-	50	-
40-100	Ц	800	1000-1200	11	-	60	-
100-160	Ц	700	900-1100	12	-	60	-
160-250	Ц	650	850-1000	12	-	60	-

Температура критичних точок сталі 40ХН2МА [24]

 $A_{c1} = 730 \text{ } ^\circ\text{C}$, $A_{c3} (A_{cm}) = 820 \text{ } ^\circ\text{C}$, $A_{r3} (A_{rm}) = 550 \text{ } ^\circ\text{C}$, $A_{r1} = 380 \text{ } ^\circ\text{C}$,

 $M_n = 320 \text{ } ^\circ\text{C}$.

3.2 Вплив легувальних елементів на властивості матеріалу

При легуванні поліпшених сталей в'язкість зменшується зі збільшенням ступеня легування, тому ступінь легування повинна бути мінімальною. Вона визначається величиною прогартовуваності, яку потрібно отримати при термічній

обробці. Чим більше перетин виробу, що піддається загартуванню, тим більше повинна бути ступінь легування, так як прогартовуваність виробів великих перерізів менше, ніж виробів малих розмірів, при інших рівних умовах [26].

Вуглець. Зниження вмісту вуглецю запобігає утворенню при зварюванні в зоні термічного впливу крихких гартівних мартенситних структур. У зварюваних холодостійких сталях вміст вуглецю повинен бути нижче 0,2 % і в структурі повинно бути мало перліту (малоперлітні сталі). Прийнято вважати, що збільшення в сталі вмісту вуглецю на кожні 0,1 % підвищує поріг холодноламкості на 20 К [5, 23].

Хром. Хром сприяє одержанню високого і рівномірної твердості сталі. Поріг холодноламкості хромистих сталей 0 - 100 °С. Розчинність в фериті цього елемента обмежена. Розчинність в аустеніті становить 12,8 %. Хром підвищує міцність, твердість, коерцитивна силу фериту. Знижує ударну в'язкість, магнітну індукцію і магнітну проникність. Хром утворює карбіди $Cr_{23}C_6$ і Cr_4C_3 . Хром підвищує точку A_1 і знижує точки A_3 і A_4 . Зміщує точку S вліво. Також цей елемент знижує схильність зерна до зростання, дуже збільшує прогартовуваність. Хром дає дві зони найменшої стійкості аустеніту при 700-300 і 400-250 °С. Зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n і збільшує кількість залишкового аустеніту. Хром значно підвищує стійкість проти корозії і окислення, дуже збільшує зносостійкість і жаростійкість [5].

Молібден. Введення в хромові сталі Мо (0,15 - 0,45 %) підвищує прожарюваність, знижує поріг холодноламкості до - 20 - 120 °С. Молібден підвищує статичну, динамічну міцність від втоми сталі. Розчинність у фериті - 5 % при 20 °С і 38 % при 1450 °С, в аустеніті - 3,5 %. Вплив молібдену на властивості фериту підвищує міцність і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність, не змінює пластичності. Молібден утворює фазу впровадження Mo_2C і карбідне з'єднання Fe_3Mo_3C . Вплив молібдену на властивості аустеніту підвищує точки A_1 і A_3 і знижує точку A_4 . Зміщує точку S вліво. Перешкоджає росту зерна. Зменшує критичну швидкість гартування, дає дві зони найменшої стійкості аустеніту 350 і 600 °С. Знижує мартенситну точку

M_n і дещо збільшує кількість залишкового аустеніту. Молібден зменшує схильність сталі до відпускнуї крихкості другого роду. Збільшує червоностійкість і підвищує схильність до знеуглецювання сталі. Підвищує температуру росту зерна аустеніту [5].

Нікель. Розчинність у фериті – 5 % при 700 °С і 10 % при 400 °С; розчинність в аустеніті - не обмежена. Вплив нікелю на властивості фериту підвищує міцність, твердість, пластичність, питомий електроопір і коерцитивну силу, знижує магнітну індукцію і магнітну проникність. Підвищує ударну в'язкість при вмісті нікелю до 2%. Не має схильності до карбідоутворення. Вплив на властивості аустеніту знижує точки A_1 і A_3 і підвищує A_4 , зміщує точку S вліво, дещо впливає на зменшення схильності до зростання зерна. Декілька збільшує прогартовуваність, зменшує критичну швидкість гартування, знижує мартенситну точку M_n , збільшує кількість залишкового аустеніту. Нікель в сталі разом з хромом підвищує прогартовуваність. Також нікель підвищує в'язкісні характеристики сталі, що є важливою умовою роботи деталі. Нікель підвищує стійкість в агресивних середовищах, впливає на поліморфізм заліза, збільшує температурний інтервал між критичними точками A_3 і A_4 [5].

Марганець. Марганець є аустенітоутворюючим елементом. Він знижує точки A_1 і A_3 і підвищує точку A_4 , точки C, S, E зсуває вліво. Марганець карбідоутворюючий елемент. Марганець найбільш інтенсивно знижує ударну в'язкість, підвищує твердість і не впливає на температурний поріг холодноламкості. Марганець підвищує схильність сталі до зростання зерна аустеніту. Марганець найбільш ефективно збільшує стійкість переохолодженого аустеніту, підвищує розчинність у фериті. Марганець зсуває C-криві вправо. При введенні його в сталь він підвищує прогартовуваність. Марганець знижує точки M_n і M_k і збільшує кількість залишкового аустеніту. Карбідоутворюючий елемент сильно уповільнює розпад мартенситу, виділяючи з нього вуглець. Вміст марганцю до 2,5% затримує коагуляцію і збільшує дисперсність карбідів і підвищує схильність до перегріву. Він найбільшою мірою затримує розпад залишкового аустеніту. При розпаді аустеніту залишкового на бейніт, цей

легуючий елемент підвищує температуру відпустки, при якій протікає це перетворення [5].

Сірка є шкідливою домішкою, що сприяє червоноломкості. У ледебуритних сталях негативна роль утворюються сульфідів менше з-за присутності в структурі значно більшого числа надлишкових карбідів, які можуть погіршувати ці властивості. Крім того, сульфідни при низьких температурах початку затвердіння цих сталей часто служать центрами кристалізації і присутні всередині великих евтектичних карбідів. Їх кількість зменшується на межі зерен. Для зменшення кількості сірки (до 0,015 %) використовують електрошлаковий переплав. Відомо, що сірка має неоднозначний вплив на характеристики холодостійкості. "Сульфідний ефект", або "сульфідний парадокс" – це аномальне явище, коли при зниженні вмісту сірки в сталі одночасно із зростанням ударної в'язкості знижується частка в'язкого зламу [5, 23].

Вплив кремнію. Вміст кремнію не перевищує 0,8 %. Кремній, дегазуючи метал, підвищує щільність злитка. Кремній підвищує міцність сталі, особливо підвищується межа плинності. Але спостерігається деяке зниження пластичності, що ускладнює холодну прокатку сталі [5].

Вплив фосфору. Фосфор має негативний вплив на механічні властивості сталі. Розташовані в міжзерновому просторі крихкі прошарки, багаті фосфором, знижують пластичні властивості металу, особливо при низьких температурах (холодноломкість). Допустимий вміст фосфору в сталі 40ХН2МА не більше 0,025 %. В даному випадку це критично, тому що сталь 40ХН2МА використовується в криогенній техніці [5]. Однією з причин, що викликають різке окрихчення сталі, є збагачення фосфором міжзеренних меж внаслідок розвитку ліквідаційних процесів. При цьому навіть можуть утворюватися включення фосфіної евтектики, які є концентраторами напружень. Встановлено, що при збільшенні вмісту вуглецю в сталі відбувається більш інтенсивне утворення сегрегацій фосфору, які об'єднуються і утворюють сітку по межах первинних аустенітних зерен, що призводить до ослаблення міжкристалічних зв'язків [5].

Будь-яка сталь в рідкому і твердому вигляді містить певну кількість водню, азоту і кисню, які є шкідливими домішками [23].

3.3 Вибір методів дослідження

Металографія – метод дослідження і контролю металевих матеріалів. Металографія вивчає закономірності утворення структури, досліджуючи макроструктуру і мікроструктуру металу (шляхом спостереження неозброєним оком або за допомогою світлового та електронного мікроскопів), а також зміни механічних, електричних, магнітних, теплових і інших фізичних властивостей металу залежно від зміни його структури.

Завданням металографічного дослідження є встановлення взаємозв'язку між якісними і кількісними характеристиками структури, і фізичними, механічними, хімічними, технологічними та експлуатаційними властивостями металевих матеріалів. Ці дані отримують за допомогою макроскопічного й мікроскопічного аналізу.

Передумовою для всіх металографічних досліджень є виготовлення шліфів, які можуть бути використані для мікроскопічного дослідження за допомогою світлового і електронного мікроскопів, для визначення мікротвердості, а також кількісного вимірювання структурних складових і електронно-зондового мікроаналізу. Виготовлення та підготовка металографічних шліфів зазвичай складається з послідовних операцій. Шліфування повинно починатися з найбільш дрібнозернистого матеріалу, здатного за 2-5 хв. створити вихідну рівну поверхню зразка і усунути ефект вирізки. Кожна наступна операція шліфування супроводжується зменшенням зернистості застосовуваного абразиву [27].

Для дослідження мікроструктури застосовуються металографічні мікроскопи. Дослідження проводили на мікроскопі МІМ-7 (рис. 3.1). Проте для сучасних металографічних досліджень застосовують і інші мікроскопи, наприклад Металографічний мікроскоп використовують для вивчення непрозорих тіл у відбитому світлі.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7 [27]

Полірування металографічних шліфів проводять для усунення наявних після нерівностей поверхні без деформування металу. Полірування шліфа може здійснюватися механічним, електролітичним або хімічним способами. Полірування триває 5-10 хв. і закінчують після того, як мікрошліф набуває дзеркальної поверхні. Відполірований зразок, перш за все, потрібно вивчити під мікроскопом в нетравленому стані. Вивчення нетравленого шліфа дозволяє визначити наявність дефектів (пор, тріщин, і т.п.) і неметалічних включень [27].

Під дією хімічних реагентів в чистих металах і однофазних сплавах, перш за все, відбувається виявлення меж зерен. Після травлення зразки промивають струменем проточної води і потім сушать (фільтрувальним папером або струменем повітря). До числа універсальних травників відносяться спиртові та водні розчини азотної кислоти [28].

Твердість металу або сплаву дуже впливає на тривалість роботи деталей. Від твердості значною мірою залежить міцність деталі і стійкість поверхні її до спрацювання. На практиці найпоширенішими є такі методи визначення твердості металів: вдавлювання сталеві кульки (методом Бринеля), вдавлювання алмазного конуса (методом Роквелла), вдавлювання алмазної піраміди (методом Віккерса).

Для визначення твердості досліджуваної сталі застосовують метод Бринеля [29]. Для випробування твердості металів за цим методом застосовують прилад

типу ТШ (твердомір кульковий). Як індентор використовується сталева загартована кулька діаметром 10; 5 або 2,5 мм, яка вдавлюється у поверхню матеріалу під навантаженням від 153 до 29400 Н (від 15,6 до 3000 кг). На поверхні зразка утворюється відбиток (лунка) у формі кульового сегмента діаметром d . Цей діаметр вимірюють за допомогою спеціального мікроскопа, на окуляр якого нанесена вимірювальна шкала з поділками, що дорівнюють одній десятій долі міліметра. Діаметр відбитка визначають середнім значенням двох його вимірювань у взаємно перпендикулярних напрямках з точністю до 0,05 мм. Число твердості за Бринелем, яке позначається літерами HB [29].

Для контролю твердості після відпалу передбачений твердомір ТК-2, вимірювання здійснюється за шкалою HRB, після гартування та відпуску за шкалою HRC. Твердомір призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Твердомір ТК-2 [29]

Механічні випробування при низьких температурах більш складні, ніж такі ж випробування при кімнатній температурі. При їх проведенні необхідно охолодження зразків за допомогою холодильних камер і кріостатів, використання спеціальних засобів вимірювання температури зразків і їх деформації. Охолодження при механічних випробуваннях здійснюється за допомогою спеціальних холодоагентів (фреон, аргон, азот, гелій та ін.) [23].

Для оцінки холодноламкості, як правило, проводять випробування серії зразків при температурі, що послідовно знижується: 0, 20, 40, 60, 80, 100 °С. За ГОСТ 9454-78 ударну в'язкість визначають в інтервалі температур від 50 до –60

°C для металів, що працюють в умовах атмосферних коливань температури. Отримані криві залежності ударної в'язкості від температури називаються серійними кривими холодноламкості. За допомогою кривих визначають температурний поріг холодноламкості, нижче за який даний метал експлуатувати не варто (рис. 3.3) [30].

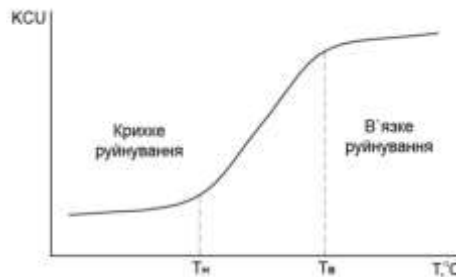


Рисунок 3.3 – Вплив температури на ударну в'язкість [29]

Верхня T_v , нижня T_n – межі інтервалів, що відповідають верхньому і нижньому порогам холодноламкості. Для надійної роботи необхідно, щоб температурний поріг холодноламкості був нижчий за температуру експлуатації матеріалу. Чим він нижчий, тим менша небезпека крихкого руйнування [29].

При випробуванні зразків із надрізом за виглядом зламу можна приблизно оцінити критичну температуру за величиною КС, користуючись шкалою зламів (рис. 3.4). За ступенем волокнистості зламу розрізняють верхній і нижній порого холодноламкості: перший, як правило, відповідає появі 10 % кристалічності у зламі, а другий – досягненню рівня 20 % кристалічності. Чим вищий поріг холодноламкості, тим більша здатність металу до крихкого руйнування. Часто поріг холодноламкості визначають за температурою випробування, коли в зламі 50 % в'язкої волокнистої складової (Т50).

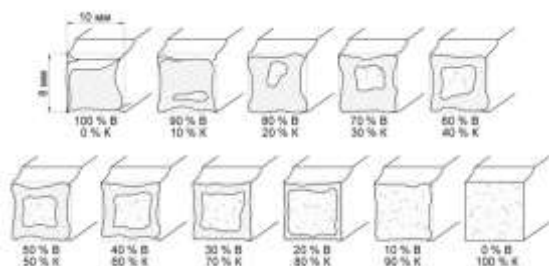


Рисунок 3.4 – Шкала зламів із різною часткою в'язкості складової (В – в'язка складова; К – крихка складова) [31]

Висновки

При виборі сталей для роботи необхідно враховувати специфічні умови служби конструкції, забезпечення її працездатності і ресурсу, так і вимоги економічності матеріалів, пов'язані з зменшенням вмісту нікелю і інших дорогих легуючих елементів, а також необхідність уніфікації матеріалів і скорочення кількості застосовуваних марок сталі.

Сталь 40ХН2МА – конструкційна низьколегована високоякісна сталь, що містить близько 0,4% вуглецю, 1% хрому та молібдену, 2% нікелю, решта залізо та домішки.

Сталь 40ХН2МА має низький поріг холодноламкості, що забезпечує легування її нікелем. Крім того дана сталь є високоякісною і має низький вміст шкідливих домішок та неметалічних включень, що також сприяє збільшенню її в'язкості.

При легуванні поліпшених сталей в'язкість зменшується зі збільшенням ступеня легування, тому ступінь легування повинна бути мінімальною. Вона визначається величиною прогартовуваності, яку потрібно отримати при термічній обробці. Чим більше перетин виробу, що піддається загартуванню, тим більше повинна бути ступінь легування, так як прогартовуваність виробів великих перерізів менше, ніж виробів малих розмірів, при інших рівних умовах. Для дослідження характеристик і властивостей обраного матеріалу застосовуємо: дослідження мікроструктури (мікроаналіз) – мікроскоп МИМ-7; для контролю твердості після відпалу передбачений твердомір ТК-2, вимірювання здійснюється за шкалою HRB, після гартування та відпуску за шкалою HRC.

РОЗДІЛ 4

МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «НАПІВМУФТА»

4.1 Розробка технологічного процесу отримання деталі

Для отримання деталей на виробництві будують технологічний процес, який є поєднанням технічних, економічних і деяких організаційних завдань, що вирішуються при виготовленні тої чи іншої деталі.

При розробленні технологічного процесу потрібно враховувати всі вимоги до деталі, розробити креслення і технічні умови виготовлення, при мінімальних затратах і невисокій собівартості.

При розробці технологічного процесу розроблюють маршрутну технологію виготовлення деталі. Вона повинна містити в собі:

- послідовність технологічних операцій (від початку до кінця);
- обладнання для проведення вказаних операцій.

Маршрутна технологія виготовлення деталі – це сукупність послідовних операцій від початку до кінця виготовлення виробу [32].

4.2 Технологія отримання деталі

Маршрутна технологія складається з таких етапів:

- Етап 1. Отримання сталі;
- Етап 2. Отримання заготовки;
- Етап 3. Попередня термічна обробка;
- Етап 4. Чорнова механічна обробка;
- Етап 5. Остаточна термічна обробка;
- Етап 6 Чистова механічна обробка;
- Етап 7. Вихідний контроль.

Маршрутна технологія виготовлення деталі «напівмуфта» наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Маршрутна технологія виготовлення деталі «напівмуфта»

№ операц.	Найменування операції	№ переходу	Найменування переходів	Дільниця, основне обладнання	Допоміжне обладнання
1	2	3	4	5	6
Етап 1. Металургійне отримання сталі					
1.1	Видобуток та підготовки вхідних матеріалів	1	Видобуток залізної руди та її збагачення	Гірничо-видобувний комплекс	-
		2	Видобуток вугілля, отримання коксу	Гірничо-видобувний комплекс, коксохімічний комбінат	-
		3	Видобуток пального газу, його підготовка	Газовидобувний комплекс	-
1.2	Металургійне отримання чавуну	1	Підготовки шихти	Шихтовий двір	Магніто-грейферні крани
		2	Підготовки (нагрівання) палива	Енергетичні цехи	Регенеративні теплообмінники
		3	Горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку	Доменний цех	Доменна піч
		4	Вирівнювання хімічного складу чавуну	Міксерне відділення	Міксери
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	1	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до конвертеру, заливання рідкого чавуну	Конвертерна піч	Мульди, ковші

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
1.3	Отримання сталі дуплекс процесом	2	Продування розплаву стисненим киснем, завантаження флюсу	Конверторна піч	Фурма
		3	Зливання сталі та шлаку	Конверторна піч	Ковші шлаковози
		4	Завантаження твердих шихтових матеріалів, скрапу до електродугове печі	Електро-дугова піч	Мульди, ковші
		5	Горіння електричної дуги, завантаження флюсу, рафінування сталі	Електро-дугова піч	Завальні машини
		6	Безперервне лиття	Установка безперервного лиття	-
		Етап 2. Отримання заготовки			
2.1	Отримання штамповки напівмуфти	1	Розрізання прокату на мірні заготовки	Фрезерний верстат	Дискова фреза
		2	Осадження заготовки до потрібного діаметру	Молот пароповітряний	Рівні бойки
		3	Нагрівання заготовки під гарячу обробку тиском	Термічна дільниця	Камерна піч
		4	Штапування у закритому штампі	Пневматичний молот	Бойки, маніпулятор, штамп
		5	Прошивання штамповки	Молот пароповітряний	Прошивень
2.2	Контроль	1	Контроль розмірів і шорсткості поверхні	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75
Етап 3. Попередня термічна обробка заготовки					
3.1	Попередня термічна обробка	1	Нормалізація	Термічна дільниця	Шахтна піч
3.2	Контроль	1	Вимірювання твердості	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індентор

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Етап 4. Чорнова механічна обробка					
4.1	Вхідний контроль якості	1	Ультра звукова дефектоскопія	Ультразвуковий дефектоскоп	-
4.2	Чорнова токарна обробка	1	Чорнове точіння торців деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
		2	Чорнове точіння циліндричних поверхонь деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
		3	Чорнове розточування отвору	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
4.3	Свердління	1	Висвердлювання отворів	Вертикально-свердлильний станок	Набір сверدل та втулок
		2	Розсвердлювання отворів	Вертикально-свердлильний станок	Набір сверدل та втулок
4.4	Чистова токарна обробка	1	Чистове точіння торців деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
		2	Чистове точіння циліндричних поверхонь деталі	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
		3	Чистове розточування отвору	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців
		4	Чистове точіння фасок	Токарно-гвинторізний верстат	Набір різців

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Етап 5. Остаточна термічна обробка					
5.1	Зміцнююча ТО	1	Гартування	Термічна дільниця	Шахтна гартувальна піч
		2	Високотемпературний відпуск	Термічна дільниця	Шахтна ел. піч для відпуску
5.2	Контроль	1	Вимірювання твердості, аналіз мікроструктури після термічної обробки	Дільниця контролю	Твердомір ТК-2, індендор, метал. мікроскоп
Етап 6. Чистова механічна обробка					
6.1	Шліфування	1	Шліфування поверхні деталі для надання деталі необхідної шорсткості	Кругло-шліфувальний стан	Круг шліфувальний
Етап 7. Вихідний контроль					
7.1	Вихідний контроль	1	Контроль геометричних розмірів	Дільниця контролю	Штангенциркуль ШЦ-1-250-01-2 ГОСТ 166-89, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75, скоба, фаскомір
		2	Контроль властивостей (твердість), ультразвукова дефектоскопія	Дільниця контролю	Твердомір, дефектоскоп

До основних етапів маршрутної технології виготовлення деталі «напівмуфта» відносяться: отримання чавуну в доменній печі, отримання сталі та її розливання на установці безперервного лиття, механічна обробка, що включає в себе штампування, попередню та остаточну термічну обробку й заключну чистову механічну обробку.

Доменна піч – металургійна піч шахтного типу (вертикально розташована), призначена для виплавки чавуну (переробного чи ливарного) або феросплавів з залізорудної сировини (руди, агломерату, окатків). Побічними продуктами доменного процесу є шлак, доменний газ і колошниковий пил. Паливом доменної печі є кам'яновугільний кокс. В ролі часткових заміників коксу можуть бути

використані природний газ, коксовий газ, мазут, пиловугільне паливо та деякі інші вуглеводні [33].

У доменних печах відбувається горіння палива, відновлення заліза і домішок, науглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку.

Для отримання сталі застосовуються доменна піч, конверторна піч, електро-дугова піч.

На етапі отримання заготовки відбувається механічна обробка, що включає в себе, розрізання прокату на мірні заготовки, осадження заготовки до потрібного діаметру, нагрівання заготовки під гарячу обробку тиском, штампування у закритому штампі, прошивання штампівки.

Чорнова механічна обробка складається із вхідного контроль якості, чорнкової токарної обробки, свердління, чистової токарної обробки [34].

При чистовій механічній обробці відбуваються такі процеси, чистове точіння торців деталі, чистове точіння циліндричних поверхонь деталі, чистове розточування отвору, чистове розточування отвору, чистове точіння фасок.

На кожному етапі проводиться контроль процесів, властивостей і твердості.

Ультразвукова дефектоскопія — пошук дефектів у матеріалі виробів ультразвуковим методом, тобто шляхом випромінювання та прийняття ультразвукових коливань, і подальшого аналізу їх амплітуди, часу приходу, форми та ін за допомогою спеціального обладнання — ультразвукового дефектоскопа.

Висновки

До основних етапів маршрутної технології виготовлення деталі «напівмуфта» відносяться: отримання чавуну в доменній печі, отримання сталі та її розливання на установці безперервного лиття, механічна обробка, що включає в себе штампування, попередню та остаточну термічну обробку й заключну чистову механічну обробку.

У доменних печах відбувається горіння палива, відновлення заліза і домішок, навуглецювання заліза і утворення чавуну та шлаку. Для отримання сталі застосовуються доменна піч, конверторна піч, електро-дугова піч.

На етапі отримання заготовки відбувається механічна обробка, що включає в себе, розрізання прокату на мірні заготовки, осадження заготовки до потрібного діаметру, нагрівання заготовки під гарячу обробку тиском, штампування у закритому штампі, прошивання штампівки.

Чорнова механічна обробка складається із вхідного контроль якості, чорнкової токарної обробки, свердління, чистової токарної обробки.

При чистовій механічній обробці відбуваються такі процеси, чистове точіння торців деталі, чистове точіння циліндричних поверхонь деталі, чистове розточування отвору, чистове розточування отвору, чистове точіння фасок.

На кожному етапі маршрутної технології виготовлення деталі «напівмуфта» проводиться контроль процесів, властивостей і твердості.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Термічна обробка деталі «напівмуфта компресора»

Термічну обробку застосовують на різних стадіях виробництва деталей машин і металовиробів. В одних випадках вона може бути проміжною операцією, що служить для поліпшення оброблюваності сплавів тиском, різанням, в інших – є остаточною операцією, що забезпечує необхідний комплекс показників механічних, фізичних і експлуатаційних властивостей виробів або напівфабрикатів. Напівфабрикати піддають термічній обробці для поліпшення структури, зниження твердості (поліпшення оброблюваності), а деталі – для додання їм певних, необхідних властивостей (твердості, зносостійкості, міцності та інших) [35].

В якості попередньої термічної обробки застосовуємо нормалізацію. Нормалізація – це нагрівання доевтектоїдних сталей вище A_{c3} , а заевтектоїдних вище A_{cm} на 50 – 60 °С, витримка і подальше охолодження на спокійному повітрі. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію сталі і усуває грубозернисту структуру, отриману при лиття, гарячої прокатки, кування і штампування і як наслідок – підвищення його механічних властивостей пластичності і ударної в'язкості). Після нормалізації структура сильно залежить від товщини стінки виробу [35].

Нормалізація в порівнянні з відпалом забезпечує більш високу твердість і міцність, а, внаслідок подрібнення зерна, зберігає достатню пластичність і в'язкість. Для сталі 40ХН2МА температура нагріву лежить в інтервалі температур 850-870 °С. Витримка триває протягом 1,5 – 2 годин, після чого деталь охолоджується на спокійному повітрі. Нормалізація формує дрібнозернисту структуру, що складається з фериту та перліту. Така структура має порівняно невисоку твердість, яка складає 240 – 269 НВ, що є передумовою для проведення механічної обробки виробу [35].

Структуру сталі 40ХН2МА після нормалізації зображено на рисунку 5.1.

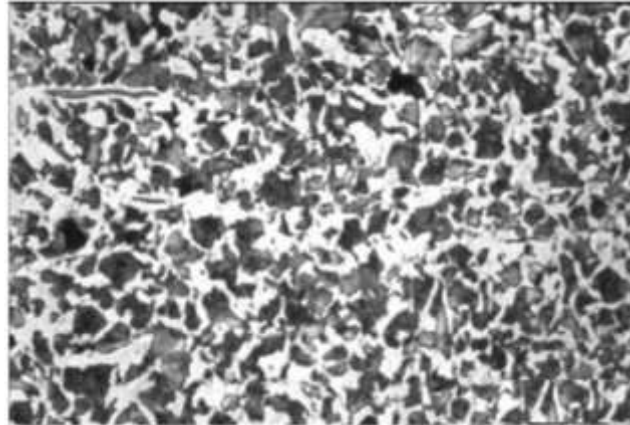


Рисунок 5.1 – Структура сталі 40ХН2МА після нормалізації (x200)

Після нормалізації проводять механічну обробку, виконують розточування отворів, свердління, чорнове та чистове обточування контуру деталі.

В якості зміцнюючої термічної обробки для сталі 40ХН2МА застосовуємо термополіпшення. Термічне поліпшення – комплекс операцій термічної обробки, що складається з гартування з наступним високим відпуском. Такий вид ТО застосовують для конструкційних сталей, з яких виготовляють деталі, котрі працюють в умовах дії значних динамічних і змінних навантажень [35].

Термічне поліпшення значно знижує температуру переходу в крихкий стан, покращує стійкість деталей в експлуатації, і його слід застосовувати для деталей відповідального призначення [36].

Гартуванням називається операція термічної обробки, що складається з нагріву до температур вище верхньої критичної точки A_{C3} для доєвтектоїдної сталі і вище нижньої критичної точки A_{C1} для заєвтекїдної сталі і витримки при даній температурі з наступним швидким охолодженням (в воді, маслі, водних розчинах солей і ін.) [37].

В результаті гартування сталь отримує структуру мартенситу і завдяки цьому стає твердою. Гартування підвищує міцність конструкційних сталей, надає твердість і зносостійкість інструментальним сталям.

Режими гартування визначаються швидкістю і температурою нагрівання, тривалістю витримки при цій температурі і особливо швидкістю охолодження.

Температура нагрівання сталі для гартування залежить в основному від хімічного складу сталі. При гартуванні доєвтектоїдних сталей нагрівання потрібно вести до температури на 30 – 50 °С вище точки A_{C3} . В цьому випадку сталь має структуру однорідного аустеніту, який при подальшому охолодженні зі швидкістю, що перевищує критичну швидкість гартування, перетворюється в мартенсит. Таке гартування називається повним. При нагріванні доєвтектоїдних сталей до температур $A_{C1} - A_{C3}$ в структурі мартенситу зберігається деяка кількість фериту, що залишився після гартування, що знижує твердість загартованої сталі. Таке гартування називається неповним [37].

Для отримання структури мартенситу потрібно переохолодити аустеніт шляхом швидкого охолодження сталі, що знаходиться при температурі найменшій стійкості аустеніту, тобто при 650 – 550 °С.

У зоні температур мартенситного перетворення, нижче 240 °С, навпаки, вигідніше застосовувати уповільнене охолодження, щоб уникнути великих структурних напружень. Правильний вибір гартувального середовища має велике значення для успішного проведення термічної обробки. Найбільш поширені гартівні середовища – вода, 5-10 %-ний водний розчин їдкого натру або кухонної солі і мінеральне масло. Для гартування вуглецевих сталей можна рекомендувати воду з температурою 18 °С, а для гартування більшості легованих сталей – масло [37].

Гартування сталі 40ХН2МА проводимо за температури 850 – 870 °С з наступним охолодженням у маслі. Тривалість витримки при нагріванні становить 0,5 – 1 години. В результаті швидкого охолодження отримуємо мартенситну структуру з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Твердість такої структури знаходиться в межах 50 – 54 HRC. Структуру, що утворюється після гартування сталі 40ХН2МА наведено на рисунку 5.2.

Рівень міцності поліпшених конструкційних сталей визначається температурою відпуску – з підвищенням температури відпуску міцність знижується, а в'язкість зростає [36].

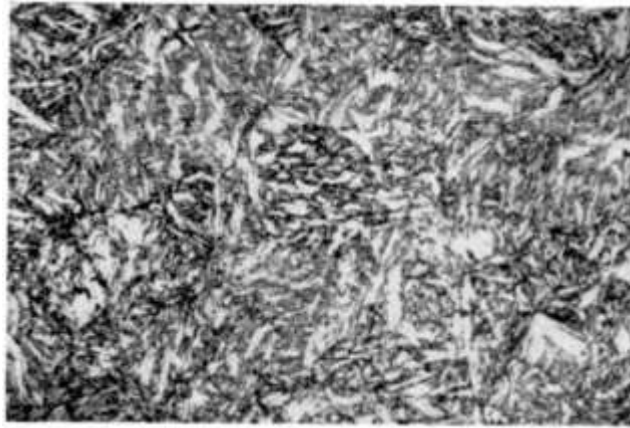


Рисунок 5.2 – Структура сталі 40ХН2МА після гартування (x500)

Для отримання структури з необхідними механічними властивостями застосовуємо високий відпуск. Відпуск сталей – операція термічної обробки, яка полягає в нагріванні загартованих сталей до температур, що не перевищують температури утворення аустеніту (A_{c1}), витримуванні при цих температурах для перетворення мартенситу гартування у більш рівноважні структури та наступного охолодження [38].

На відміну від продуктів розкладання переохолодженого аустеніту (сорбіт, тростит), які мають пластинчасту форму цементиту, продукти розкладання мартенситу під час нагрівання (сорбіт відпуску, тростит відпуску) мають зернисту форму цементиту, тому за інших рівних умов вони характеризуються більшими ударною в'язкістю й межею витривалості в умовах руйнування від втоми.

Високотемпературний (високий) відпуск проводять в інтервалі температур 500 – 600 °С для майже повного усунення гартівних внутрішніх напружень та утворення структури сорбіту відпуску, що забезпечує найкраще поєднання високої ударної в'язкості, межі витривалості із задовільною міцністю й твердістю (близько 25-35 HRC) [39].

Для сталі 40ХН2МА температура високого відпуску складає 550 – 580 °С. Для деталі витримку здійснюють протягом 2,5 – 3 години, після чого охолоджують на спокійному повітрі. Структура, що утворюється в результаті вказаної термічної обробки – сорбіт відпуску. Її твердість складає близько 32 – 34

HRC. Структуру сталі після високотемпературного відпуску показано на рисунку 5.3.

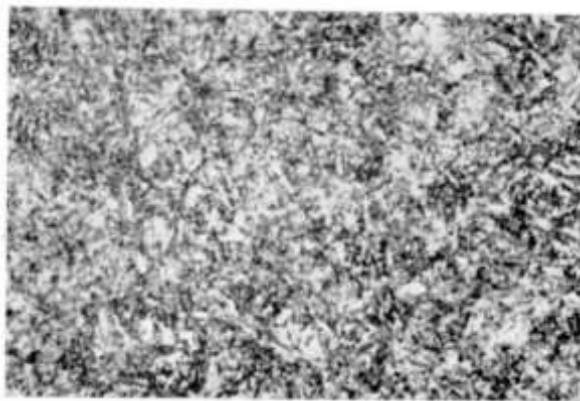


Рисунок 5.3 – Мікроструктура сталі після високотемпературного відпуску (x200)

Графік запропонованої термічної обробки наведено на рисунку 5.4.

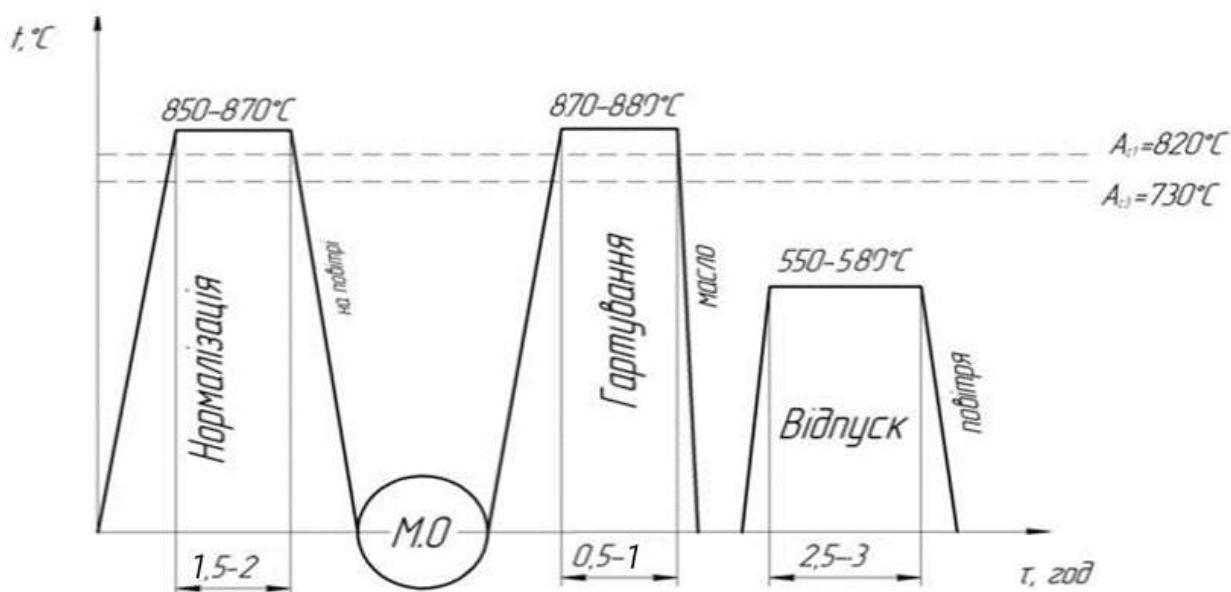


Рисунок 5.4 – Графік термічної обробки сталі 40XN2MA

5.2 Вибір і розрахунок обладнання для проведення термічної обробки

Устаткування в термічному цеху повинно бути розташоване так, щоб був вільний доступ до всіх печей, гартувальних баків, мийних машин і щоб між ними був вільний простір, ні чим не закладене і не заставлене [40]. Особливо важливо,

щоб були досить широкі і вільні проходи біля дверей печей і на шляху до гартівних баків.

Все обладнання цеху ділиться на три групи:

- основне обладнання;
- додаткове обладнання;
- допоміжне обладнання [40].

Вибір обладнання починається з аналізу технологій термічної обробки деталей, що проводять в цеху чи на термічній дільниці. Також необхідно розглянути, які види обладнання мають більшу продуктивність, забезпечують кращі показники якості термообробки, є краще автоматизованими й механізованими [40].

Таблиця 5.1

Відомість розподілу програми за операцією

Назва деталі	Назва операції		
	Нормалізація	Гартування	Високий відпуск
напівмуфта	14 500 кг	10 500 кг	10 500 кг

Розрахункова кількість одиниць обладнання K_p , необхідне для виконання програми:

Маса готової деталі: $m = 2,1$ кг.

Річний випуск продукції становить 10 500 кг.

Кількість деталей, що випускаються за рік – $10\,500 / 2,1 = 5000$ шт / рік.

Дану деталь потрібно піддавати ХТО. Режим роботи термічної ділянки буде 1-но змінний.

Річний фонд ефективного часу роботи обладнання залежить від встановленого режиму роботи, тривалості зміни, втрат часу на ремонт і переналадження обладнання та розраховується за формулою [40]:

$$\Phi_d = (365 - B - П) \cdot Z \cdot t \cdot K_p, \quad (5.1)$$

де Φ_d - дійсний річний фонд часу обладнання, год;

V - кількість вихідних днів на рік (за вирахуванням вихідних, співпадають зі святковими днями);

Π - кількість святкових днів у році;

C - кількість змін у добі;

t - середня тривалість однієї зміни.

Таким чином, Φ_d для 1-но змінного режиму роботи дорівнює 1808 годин.

$$K_p = E_i / \Phi_d = \Pi_i / (P_i \cdot \Phi_d). \quad (5.2)$$

Так як я вибираю однозмінний робочий день:

$\Phi_d = 1808$ годин;

E_i – необхідна кількість годин для виробничої програми для відповідного виду термічної обробки виробу i -го найменування.

$$E_i = \Pi_i / P_i. \quad (5.3)$$

де Π_i - річна виробнича програма по відповідній операції оброблюваної деталі i -го найменування;

P_i - годинна продуктивність одиниці обладнання при відповідній операції обробки деталей i -го найменування.

$$P_i = M_i / \tau_i. \quad (5.4)$$

де M_i - маса садки деталі i -го найменування;

τ_i - нормування часу обробки однієї садки деталей i -го найменування.

Маса деталі до механічної обробки буде 2,9 кг [40].

Для нормалізації обираємо камерну шахтну піч типу:

Піч СШО-8.12/10 (рис. 5.5).

$P_0 = 14\,500$ кг; $\Phi_d = 1808$ год; $\tau_0 = 1,5$ год; кількість деталей у садці – 12 штук.

$$M_0 = 12 \cdot 2,9 = 34,8 \text{ кг}$$

$$P_0 = M_0 / \tau_0 = 34,8 / 1,5 = 23,2 \text{ кг / год}$$

$$K_p = 14\,500 / (23,2 \cdot 1808) = 0,345$$

$$\eta = (0,345 / 1) \cdot 100 \% = 34,5 \% - \text{обираємо 1 піч.}$$



Рисунок 5.5 – Електрична шахтна піч типу СШЗ 8.12/10 [40]

Для повного гартування обираємо шахтну піч типу:

Піч СШЗ – 8.12/10 (рис. 5.6).

$P_{\Gamma} = 10\,500$ кг; $\Phi_{\text{д}} = 1808$ годин; $\tau_{\Gamma} = 0,5$ годин, кількість деталей у садці – 12 штук.

$$M_{\Gamma} = 12 \cdot 2,1 = 25,2 \text{ кг}$$

$$P_{\Gamma} = M_{\Gamma} / \tau_{\Gamma} = 25,2 / 0,5 = 50,4 \text{ кг / год}$$

$$K_p = 10\,500 / (50,4 \cdot 1808) = 0,115$$

$$\eta = (0,115 / 1) \cdot 100\% = 11,5\% \text{ – обираємо 1 піч.}$$

Для високого відпуску обираємо шахтну піч типу:

Піч СШО-8.12/7 (рис. 5.6).

$P_{\text{ВВ}} = 10\,500$ кг; $\Phi_{\text{д}} = 1808$ годин; $\tau_{\text{ВВ}} = 6$ години; кількість деталей у садці – 12 штук.

$$M_{\text{ВВ}} = 12 \cdot 2,1 = 25,2 \text{ кг}$$

$$P_{\text{ВВ}} = M_{\text{ВВ}} / \tau_{\text{ВВ}} = 25,2 / 2,5 = 10,2 \text{ кг / год}$$

$$K_p = 10\,500 / (10,2 \cdot 1808) = 0,569 \text{ – обираємо 2 печі}$$

$$\eta = (0,569 / 2) \cdot 100\% = 11,3\%.$$



Рисунок 5.6 – Зображення електричної відпускної шахтної печі типу СШО-8.12/7 [40]

Для завантаження деталей до печі застосовують спеціальні пристосування (рис. 5.7), які покращують процес завантаження, підвищують ККД для печі та скорочують витрати на електроенергію до 200-250 кВт/т. Величина деталей у садці складає 12 деталей.



Рисунок 5.7 – Пристосування для завантаження деталей в піч [40]

В таблиці 5.2 наведено характеристики печей, які будемо застосовувати для проведення ТО.

Таблиця 5.2

Печі термічного відділення

№ Печі	Найменування печей	Розмір внутр., простору печі			Габарити печі, м	Садка, кг	Продуктивність, кг/год	Кількість печей
		Довжина, м	Ширина, м	Висота, м				
2	СШЗ-8.12 / 10	0,8		1,2	1,4x2x2,2	34,8	13,92	1
2	СШЗ-8.12 / 10	0,8		1,2	1,4x2x2,2	25,2	12,6	1
3	СШО-8.12 / 7	0,8		1,2	2x2x2,4	25,2	4,2	2

5.3 Проектування термічної дільниці

Головними елементами виробничої структури підприємства є робочі місця, дільниці й цехи [40].

Дільниця – це виробничий підрозділ, який об'єднує ряд робочих місць, згрупованих за певними ознаками, що здійснює частину загального виробничого процесу по виготовленню продукції або по обслуговуванню виробничого персоналу. Для розміщення проекрованої дільниці цеху, з шкідливими газовиділеннями і значними надлишками тепла (більше 20 ккал/м³ на годину), як правило, має використовуватися одноповерхова будівля, яка має прямокутну форму і забезпечує найбільш ефективне видалення шкідливих речовин звичайним шляхом [40].

Ширина прольотів дорівнює 12, 18, 21, 30 і 36 м та встановлюється в залежності від схеми розміщення обладнання й необхідної ширини проїздів.

У проектованому цеху приймаються наступні сітки колон 12 x 18, 12 x 24, для кранових будівель 12 x 24, 12 x 30. Прольоти 6, 9 і 12 метрів. Висота прольоту приймається залежно від умов роботи.

Термічні цехи характеризуються великою кількістю інженерних комунікацій, установка і монтаж яких ускладнює нормальне проведення технологічного процесу і не задовольняє вимогам промислової естетики. Необхідні площі проекрованої ділянки розраховуємо за укрупненими показниками, використовуючи довідкові дані [40].

Розрахунок площі цеху [40]:

$$S_{\text{ЗАГ}} = S_{\text{ПОЛ}} + S_{\text{ПРОХ}} + S_{\text{ВСП}},$$

де $S_{\text{ПОЛ}}$ - корисна виробнича площа необхідна для розміщення обладнання;

$S_{\text{ПРОХ}}$ - площі проходів і проїздів;

$S_{\text{ВСП}}$ - допоміжна площа.

$$S_{\text{ПОЛ}} = \sum S_{\text{I}},$$

де S_{I} - площа для даного обладнання.

$$S_{\text{ПОЛ}} = 6 \cdot 24 = 144 \text{ м}^2$$

Допоміжна площа і площа проходів та проїздів встановлюється в розмірі 25 - 35 % від виробничої площі [40].

$$S_{\text{ВСП}} = 25 \dots 35\% \cdot S_{\text{ПОЛ}} = 30\% \cdot 144 = 43,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ПРОХ}} = 25 \dots 35\% \cdot S_{\text{ПОЛ}} = 30\% \cdot 144 = 43,2 \text{ м}^2$$

$$S_{\text{ЗАГ}} = 144 + 43,2 + 43,2 = 230,4 \text{ м}^2$$

Отриману $S_{\text{ЗАГ}}$ розбивають на сітку колон.

Таким чином, ми отримуємо термічну дільницю з розмірами: $24 \times 12 = 288 \text{ м}^2$.

Термічні цехи в своєму складі мають: виробничі дільниці; допоміжні окремі (склади); склади готової продукції, допоміжних матеріалів, пристосовування; трансформаторні підстанції; службові і побутові приміщення [40].

Склад площ змінюється в залежності від розміру і структури цеху, характеру технологічних процесів та інших особливостей [40].

В основу розстановки обладнання на плані і розрізах цеху повинні бути покладені [40].

- намічена компоновальна схема технологічного вантажопотоку, що не допускає перетину шляхів руху оброблюваних деталей;
- можливість обслуговування і ремонту устаткування.

План розробленої термічної цеху наведено в додатку Б.

Висновки

Термічну обробку застосовують на різних стадіях виробництва деталей машин і металовиробів.

В якості попередньої термічної обробки застосовуємо нормалізацію. Нормалізація викликає повну фазову перекристалізацію сталі і усуває грубозернисту структуру, отриману при лиття, гарячої прокатки, кування і штампування і як наслідок – підвищення його механічних властивостей пластичності і ударної в'язкості). Після нормалізації структура сильно залежить від товщини стінки виробу.

В якості зміцнюючої термічної обробки для сталі 40ХН2МА застосовуємо термополіпшення. Термічне поліпшення – комплекс операцій термічної обробки, що складається з гартування з наступним високим відпуском. Такий вид ТО застосовують для конструкційних сталей, з яких виготовляють деталі, котрі працюють в умовах дії значних динамічних і змінних навантажень.

При виборі обладнання проводять аналіз технологій термічної обробки деталей, що застосовують в цеху. Також потрібно розглядати, які види обладнання мають більшу ефективність і продуктивність, забезпечують оптимальні показники якості термічної обробки, також є максимально автоматизованими і механізованими.

ВИСНОВКИ

1. В бакалаврській кваліфікаційній роботі було проаналізовано умови роботи деталі «напівмуфта компресора», описано вимоги до деталей даного типу, вибрано матеріал й розроблено маршрутну технологію для виготовлення деталі, запропоновано термічну обробку та заходи контролю якості готової деталі.

2. Деталь «напівмуфта» є однією зі складових компресора 294 ГЦ 2–460/18,5–41 ГПА і в процесі роботи не піддається складним несучим навантаженням, однак матеріал повинен забезпечувати високу конструкційну міцність та в'язкість, властивості матеріалу та його структура повинні бути рівними по всьому перерізу; матеріал не повинен втрачати свої властивості під час роботи при понижених (мінусових) температурах.

3. Для виготовлення деталі пропоную застосовувати леговану поліпшувану сталь 40ХН2МА, яка має низький поріг холодноламкості, що забезпечує легування її нікелем. Крім того дана сталь є високоякісною і має низький вміст шкідливих домішок та неметалічних включень, що також сприяє збільшенню її в'язкості.

4. До основних етапів маршрутної технології виготовлення деталі «напівмуфта» відносяться: отримання чавуну в доменній печі, отримання сталі та її розливання на установці безперервного лиття, механічна обробка, що включає в себе штампування, попередню та остаточну термічну обробку та заключну чистову механічну обробку.

5. З метою отримання необхідних властивостей для матеріалу деталі «напівмуфта» сталі 40ХН2МА було назначено термічну обробку, яка складається з нормалізації та термополіпшення, що застосовують для конструкційних сталей, працюючих в умовах дії динамічних і змінних навантажень.

6. При виборі обладнання проведено аналіз технології термічної обробки деталі, обрано такі види обладнання, які мають більшу ефективність і продуктивність, забезпечують оптимальні показники якості термічної обробки, також є максимально автоматизованими і механізованими. Було спроектовано цех для виконання процесів термічної обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Клементьєва О. Ю., Проценко В.О. Підвищення експлуатаційної безвідмовності профільних запобіжних муфт модифікацією їх структури : Вісник ХНТУ : Інженерні науки, 2017. №1(60). С. 67-71.
2. Осічев Д. Р., Говорун Т. П. Особливості призначення та вибір матеріалу для деталі «напівмуфта» / Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 111-112.
3. Иванов, М. Н. Детали машин: учебник/ под ред. В.А. Финогенова. 6-е изд., перераб. М. : Высшая шк., 2000. 383 с.
4. Малащенко В.О., Куновський Г.П. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем : Львів : «Новий світ-2000», 2016. 150 с.
5. Руденко Л.Ф., Говорун Т.П. Леговані сталі та сплави: навч. посібн. Суми: СумДУ, 2012. 171 с.
6. Турбокомпрессор.
URL:http://frunze.com.ua/wpcontent/uploads/2017/02/sumy_npo_turbocompressors_catalog_ru.pdf.
7. Русов В.А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам. Пермь, 2012. 252 с.
8. Леликов О. П. Основы расчёта и проектирования деталей и узлов машин. Конспект лекций по курсу "Детали машин". М.: Машиностроение, 2002. 440 с.
9. Заблонський К. І. Деталі машин. Одеса : АстроПринт, 1999. 404 с.
10. Павлице В. Т. Основы конструювання та розрахунков деталей машин: підручник , К. : Вища школа, 1993. 556 с.
11. Проценко В. О., Настасенко В.О., Клементьєва О.Ю. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / Підйомно-транспортна техніка: науковотехнічний та виробничий журнал. Одеса: ІНТЕРПРІНТ. 2015. № 4. С. 53–59.

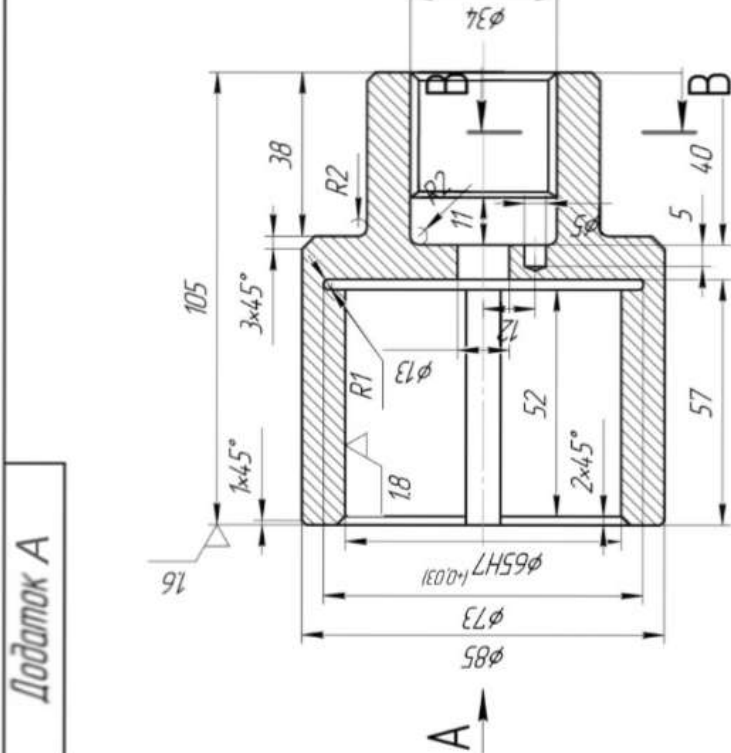
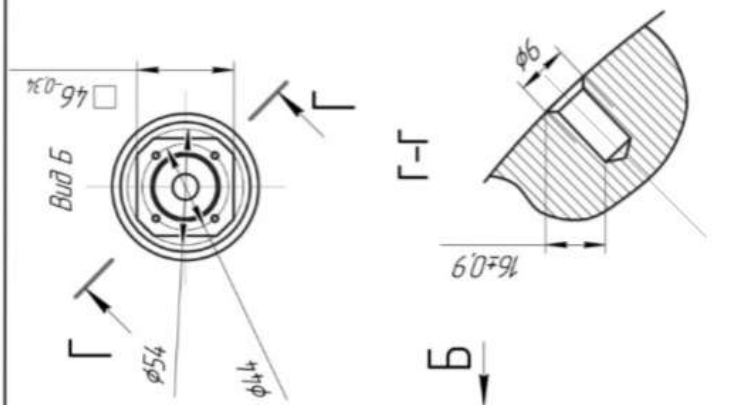
12. Проценко В. О., Клементьева О.Ю. Вплив компоновання муфти з торцевими канатами тангенціального розташування на силову взаємодію її елементів : науковий вісник. Львів: НЛТУ України, 2016. Вип. 26.1 С. 292–397.
13. Проценко В. О. Проектування муфти з торцевою установкою прямих канатів / Гірничі, будівельні, дорожні, меліоративні машини. К.: КНУБА, 2011. Вип. 77 – С. 44–50.
14. Дунаев П. Ф., Леликов О.П. Детали машин. Курсовое проектирование : Учебное пособие для машиностроительных специальностей 3-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2002. 536 с.
15. Ланцевич М.А., Ковалева М.А. Муфты. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Детали машин и основы конструирования» Новосибирск, 2006. 17 с.
16. Алієв Н.А., Пономаренко М.В., Ворожбицький А.С., Сіденко В.Е. Технологічні основи збільшення довговічності багатосекційних відцентрових насосів / Прогресивні технології і системи машинобудування, 2012. Вип. 1, 2 (43). С. 8-17.
17. Алиев Н.А., Грядущий Б.А. Технологические основы создания высокоресурсных многосекционных насосов / Уголь Украины, 2004. №10. С. 14-20.
18. Таровик Н. Г., Кулик Т. А., Котушенко Е. С. Детали машин : Соединительные муфты: справочное пособие. Краматорск : ДГМА, 2013. 35 с.
19. Поляков В. С., Барбаш И. Д., Ряховский О. А. Справочник по муфтам. Л.: «Машиностроение» Ленингр. отд-ние, 1994. 352 с.
20. Малащенко В. О., Гащук П.М., Сороківський О.І., Малащенко В.В. Кулькові механізми вільного ходу : монографія / Львів : Новий Світ-2000, 2012. 212 с.
21. Малащенко В. О., Куновський Г.П. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем : монографія / Львів : «Новий світ-2000», 2016. 150 с.
22. Артюх В. Г. Основы защиты металлургических машин от поломок : монографія / Мариуполь : Университет, 2015. 288 с.

23. Солнцев Ю. П., Степанов Г.А. Конструкционные стали и сплавы для низких температур /М.: Металлургия, 1985. 271 с.
24. Сорокин В. Г., Волосникова А.В., Вяткин С.А. Марочник сталей и сплавов и др.: под общей редакцией В. Г. Сорокина.М., Машиностроение 1989. 640 с.
25. Арзамасов Б. Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений.: под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. 2-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 384 с.
26. Ривлин Ю. И., Чернобыльский М.А., Коротков В.Н. Металлы и их заменители: справочник / М. : Металлургия, 2006. 438 с.
27. Говорун Т. П. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. Суми: Сумський державний університет, 2011. 86 с.
28. Литовченко С.В., Доценко Е.А., Кочетова С.Ю. Приготовление образцов для металлографического исследования микроструктуры:Методические материалы : Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2011. 14 с.
29. Пчелінцев В.О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів / укладачі: В.О. Пчелінцев, А. І. Дегула, Т. П. Говорун. Суми : Сумський державний університет, 2015. 53 с.
30. Пчелінцев, В.О., Дегула А.І. Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів : навч. посіб. / Суми: СумДУ, 2012. 247 с
31. Солнцев Ю. П., Титова Т.И. Стали для Севера и Сибири / СПб.: ХИМИЗДАТ, 2002. 352 с.
32. Марченко С. В., Гапонова О.П., Говорун Т.П., Харченко Н.А. Технологія конструкційних матеріалів : навч. посіб. / Суми : СумДУ, 2016. 146 с.
33. Ефименко, Г. Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна/К.: «Вища школа», 1994. 426 с.

34. Равська Н. С., Родін П.Р., Ніколаєнко Т.П., Мельничук П.П. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник / Ж.: ЖІТІ, 2000.332с.
35. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / Москва: Металлургия, 1986. 480 с.
36. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. – Львів: Світ, 2009. 551 с.
37. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник. К.: Либідь, 2002. 328с.
38. Лахтин Ю. М. Основы металловедения . М.: Металлургия, 1993. 320 с.
39. Мохорт А.В., Чумак М.Г. Термічна обробка металів : навч. посіб. / К.: Либідь, 2002. 512 с.
40. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць : навч. посіб. / Суми: СумДУ, 2008. 212 с.

$\sqrt{3.2}$

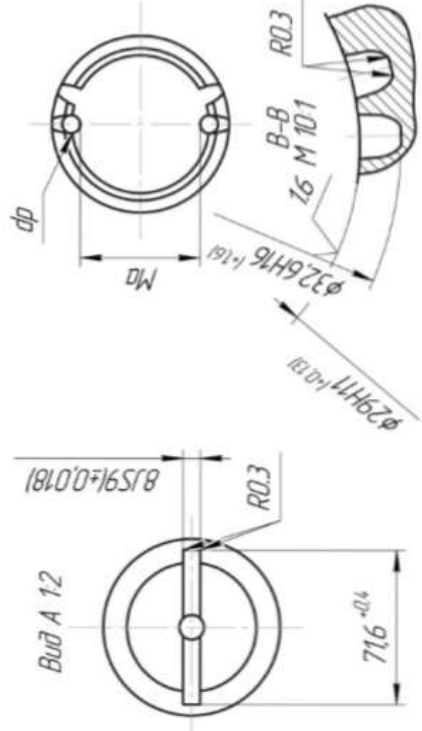
Умовні позначення	z	15
Модуль	m	20
Число зубів	dφ	259
Діаметр роліка	Sd	2.355
Ширина отвору по округлості	dx	30



1. ГР М – НВ223...262
2. Невказані межі відхилення розмірів Н14/Н14
3. *Розміри для довідок

Додаток А

№6 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№6 № подач	Рядки і дані
№7 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№7 № подач	Рядки і дані
№8 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№8 № подач	Рядки і дані



Додаток А

Напівмуфта

№6 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№6 № подач	Рядки і дані
№7 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№7 № подач	Рядки і дані
№8 № подач	Рядки і дані	Вам цих №	№8 № подач	Рядки і дані

Листовий №

Формат А3

