



Л. ІВАНОВА

ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТ І МОНТАЖ МАШИН І АГРЕГАТІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ



Л. ІВАНОВА

**ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ,
РЕМОНТ І МОНТАЖ МАШИН
ТА АГРЕГАТІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Науково-методичний центр ВФПО
2023

УДК 669(075.8)

Рецензенти:

Ігор ЗАСЕЛЬСЬКИЙ, к.т.н., доцент кафедри інжинірингу з галузевого машинобудування Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій

Микола ГАЙДУК, викладач Відокремленого структурного підрозділу «Гірничо-електромеханічний фаховий коледж Криворізького національного університету»

Тетяна НЕВІЛЬКО, викладач Відокремленого структурного підрозділу «Новомосковський фаховий коледж Українського державного університету науки і технологій»

Технічне обслуговування, ремонт і монтаж машин та агрегатів металургійних підприємств : навч. посіб. / Л. Іванова. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2023. – 112 с.

ISBN 978-617-7283-62-0

Навчальний посібник «Технічне обслуговування, ремонт і монтаж машин та агрегатів металургійних підприємств» є набуттям здобувачами освіти компетенцій, знань, умінь і навичок для здійснення професійної діяльності технічного фахівця в галузі видобувної промисловості та металургії: забезпечення надійності роботи, експлуатації, технології ремонтів машин та агрегатів, сталеплавильних, прокатних цехів та допоміжного обладнання технологічних ліній, основи технологічних розрахунків ремонтних і монтажних робіт, формування чіткого і правильного розуміння значення мобільності професійних знань; забезпечення досконалого володіння прийомами виконання ремонтних та монтажних робіт, дотримання культури робіт під час ремонтів, формування навичок оперування фаховою термінологією, приймати самостійні рішення, контролювати свої дії. Рекомендовано для студентів і викладачів із спеціальності 133 Галузеве машинобудування у закладах фахової передвищої освіти.

Складається з 2 розділів і містить 105 елементів візуалізації, з них 14 відеоматеріалів.

ISBN 978-617-7283-62-0

© Л. Іванова

Вступ	5
Розділ 1. Умови роботи машин, руйнування та знос	8
1.1.1. Машина, як об'єкт експлуатації	8
1.1.2. Умови роботи обладнання, їх вплив на спрацювання деталей	10
1.1.3. Класифікація механічних видів спрацювання з умов їх виникнення	11
1.1.4. Основні пошкодження приводів і передач. Типи відмов	13
1.1.5. Види руйнування та зносу	14
1.1.6. Механічні руйнування	18
1.1.7. Хімічний знос	20
1.1.8. Термічне руйнування	22
1.1.9. Електроруйнування	22
1.1.10. Кавітація	23
1.1.11. Методи захисту від корозії і втоми металів	24
1.2 Загальні поняття про діагностику руйнувань та виявлення дефектів	26
1.2.1. Значення діагностики відмов металургійних машин. Системи контролю	26
1.2.2. Класифікація методів проведення технічного діагностування машин, вузлів і механізмів	30
1.2.3. Методи замірів зносу деталей	32
1.2.4. Органолептичні методи оцінки технічного стану обладнання	34
1.2.5. Загальні положення неруйнівного контролю	35
1.2.6. Магнітно-люмінесцентна дефектоскопія	36
1.2.7. Ультразвукова дефектоскопія, рентгенотелескопія	38
1.3. Шляхи підвищення зносостійкості, методи і способи відновлення деталей	40
1.3.1. Шляхи поліпшення умов роботи машин і деталей. Підвищення зносостійкості деталей обладнання	40
1.3.2. Види термічного зміцнення під час виготовлення деталей	43
1.3.3. Заходи боротьби зі зношенням деталей обладнання	46
1.3.4. Хіміко-термічна обробка деталей	46
1.3.5. Поверхнево-пластична деформація та інші методи	50
1.3.6. Методи спрацьованих деталей	53
1.3.7. Відновлення деталей наплавленням	54
1.3.8. Поновлення зношених деталей металізацією напиленням та електролітичним способом	57
1.4 Основи теорії надійності	60
1.4.1. Наука про надійність. Термінологія, поняття, визначення, показники надійності	60
1.4.2. Фактори, що впливають на надійність устаткування	64
1.4.3. Підхід до проектування і конструювання з позицій теротехнології	64
1.4.4. Надійність елемента, який працює до першої відмови	65
1.4.5. Методика обробки даних статистичних спостережень про надійність	67
1.4.6. Отримання інформації про надійність обладнання	67
1.4.7. Елементи теорії ймовірності. Закони розподілення напрацювання до відмов	68

Розділ 2. Організація та проведення технічного обслуговування та ремонту	73
2.1.1. Термінологія, поняття, визначення системи. Положення СТОіР	73
2.1.2. Структура, організація і проведення технічної експлуатації	74
2.1.3. Правила технічної експлуатації (ПТЕ)	76
2.1.4. Підготовка до технічної експлуатації	77
2.1.5. Обов'язки експлуатаційного і ІТП персоналу згідно ПТЕ, контроль. Роль майстра	79
2.1.6. Агрегатні журнали, їх призначення	81
2.1.7. Формування структури ремонтного циклу	83
2.2 Організація і проведення технічного обслуговування машин і агрегатів	86
2.2.1. Мета ТО, його забезпечення	86
2.2.2. Організація технічного обслуговування	87
2.2.3. Огляди при технічному обслуговування	87
2.2.4. Налагодження, регулювання обладнання	90
2.3 Організація та проведення ремонтів машин і агрегатів	97
2.3.1. Види ремонтів, передбачені системою ТОіР	97
2.3.2. Планування, підготовка і методи проведення ремонтів	98
2.3.3. Документація, що складається на ремонт	101
2.3.4. Форми і структура організації ремонтної служби	103
2.3.5. Комплексна система керування якістю ремонтного виробництва. АСУ ремонти	104
2.3.6. Цехи по виробництву запасних частин і змінного обладнання	106
Список використаних джерел	110

ВСТУП

Завданням навчальної дисципліни «Технічне обслуговування, ремонт і монтаж машин та агрегатів металургійних підприємств» є набуття здобувачами освіти компетенцій, знань, умінь і навичок для здійснення професійної діяльності технічного фахівця в галузі видобувної промисловості та металургії: забезпечення надійності роботи, експлуатації, технології ремонтів машин та агрегатів додомених, доменних, сталеплавильних, прокатних цехів та допоміжного обладнання технологічних ліній, основи технологічних розрахунків ремонтних і монтажних робіт, формування чіткого і правильного розуміння значення мобільності професійних знань; забезпечення досконалого володіння прийомами виконання ремонтних та монтажних робіт, дотримання культури робіт під час ремонтів; вироблення навичок виділяти головне в проблемі, робити узагальнення; розвиток творчого мислення та уміння працювати в бригадах; виховання поваги до майбутньої професії; формування навичок оперування фаховою термінологією, приймати самостійні рішення, контролювати свої дії.

Мета навчальної дисципліни – набуття студентами організаційних і практичних навичок, необхідних для роботи зі спеціальності в реальних виробничих умовах, вирішення типових спеціалізованих задач та практичних проблем у сфері галузевого машинобудування, що передбачає застосування положень і методів інженерних наук та характеризується певною невизначеністю умов.

Міждисциплінарні зв'язки: «Математика», «Фізика», «Хімія», «Основи інформатики та обчислювальної техніки», «Інженерна графіка», «Технічна механіка», «Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання», «Основи технології галузі», «Матеріалознавство та конструкційні матеріали», «Обробка різанням, металорізальний інструмент і верстати», «Гідро- і пневмоприводи», «Підйомно-транспортні машини», «Охорона праці» та «Основи промислової екології», «Машини та агрегати металургійних підприємств», є базою для вивчення дисциплін: «Електроустаткування машин та агрегатів металургійних підприємств», «Основи автоматизації виробництва», «Економіка, організація та планування виробництва».



Рис. 1. Навчання у ремонтно-механічному цеху



Загальна кількість годин на дисципліну – 300. Обсяг годин для окремих видів навчальних занять і самостійної роботи: лекції – 173 годин, практичні заняття – 4 години, лабораторні заняття – 20 годин, самостійна робота – 91 годин, зокрема курсове проєктування – 60 годин.

Електронний підручник складається із 2 розділів і містить 98 об'єктів візуалізації, із них 14 відео-матеріалів.

Напрями науково-технічного прогресу щодо технічного обслуговування, ремонту і монтажу машин і агрегатів металургійних заводів

Науково-технічний прогрес є основоположним фактором, який забезпечує економічний розвиток суспільства. Творення нових технічних засобів поряд із підвищенням до них вимог, з одного боку, та новими методами вирішення технічних завдань, з іншого боку, викликають необхідність перегляду методів вивчення та створення технічних систем. Систематизація загальних законів розвитку техніки та розвиток сучасних методів розв'язання технічних задач під час створення об'єктів нової техніки дозволяє прискорити терміни впровадження нових технічних рішень у виробництво, зробити процес творення нової техніки ефективнішим та підвищити кваліфікацію майбутнього фахівця техніка-механіка як новатора, творця та винахідника.

НТП – динамічно-поступальний, взаємопов'язаний процес розвитку науки і техніки, який зумовлений потребами матеріального виробництва і базується на використанні наук, відкриттів і винаходів, здатних підвищити рівень техніки, технологій та забезпечити їх широке застосування у відповідних галузях суспільного життя. Він спричиняє і стимулює якісні перетворення у матеріальному виробництві та невиробничій сфері, сприяє зростанню продуктивності праці, є джерелом економічного зростання, невід'ємною частиною і передумовою соціального прогресу. Умови для НТП почали складатися у 16 – 17 ст., коли потреби інтенсивно зростаючого виробництва, мореплавства, торгівлі стали сприяти поступовій інтеграції науки, техніки та винахідництва. Сучасними ключовими напрямками НТП є: комплексна автоматизація виробничих процесів; створення безлюдних виробництв; широкомасштабна комп'ютеризація та електронізація; використання в економіці, науці, освіті інформаційно-обчислювальної та мікропроцесорної техніки, широкого спектра електронних пристроїв; пошук та використання нових джерел енергії; розвиток атомної енергетики; створення нових засобів комунікацій, зв'язку й транспорту; освоєння мембран-

Чи є межа технологічного прогресу?



ної, лазерної, плазмової та інших технологій тощо.

В Україні правовідносини в галузі НТП регулюються насамперед Законом «Про наукову і науково-технічну діяльність» (1998, зі змінами і доп. 2000). Ним визначено правові, організаційні та фінансові засади функціонування і розвитку науково-технічної сфери, а також передбачено умови для реалізації інтелектуального потенціалу для забезпечення потреб суспільства і держави у найпередовіших технологіях.

Інтенсифікація виробництва (лат. intensio – напруження, посилення і лат. facio – роблю) – розвиток (процес) суспільного виробництва, що ґрунтується на найбільш повному та раціональному використанні технічних, матеріальних, природних, фінансових і трудових ресурсів на базі науково-технічного прогресу. Інтенсифікації виробництва досягають удосконаленням функціонування всіх основних процесів, що беруть участь у відтворенні сукупного суспільного продукту. Інтенсифікація виробництва є поєднанням передових методів господарювання та досягнень науково-технічної революції; вдосконаленням структури, галузевих, міжгалузевих і територіальних пропорцій виробництва. Далі піднесення збільшених масштабів виробництва відбувається, переважно, внаслідок використання інтенсивних факторів (зростання продуктивності суспільної праці, економія сировини й матеріалів, ефективне використання виробничих фондів, підвищення ефективності капітальних вкладень і нової техніки, наукової організації виробництва і праці, вдосконалення методів управління народним господарством тощо).

Автоматизація є одним з напрямів науково-технічного прогресу, який спрямовано на застосування саморегульованих технічних засобів, економіко-математичних методів і систем керування, що звільняють людину від участі у процесах отримання, перетворення, передавання і використання енергії, матеріалів чи інформації, істотно зменшують міру цієї участі чи трудомісткість виконуваних операцій. Разом з терміном «автоматичний», використовується поняття «автоматизований», що підкреслює відносно великий ступінь участі людини у процесі.

Робототехніка (від робот і техніка; англ. robotics) (англ. robotics, нім. Robotertechnik f) – прикладна наука, що опікується проектуванням, розробкою, будівництвом, експлуатацією та використанням роботів, а також комп'ютерних систем для їх контролю, сенсорного (на основі вихідних сигналів (давачів)) зворотного зв'язку і обробки інформації автоматизованих технічних систем (роботів).

Нанотехнології (англ. nanotechnology, нім. Nanotechnologie), інша назва – наномолекулярні технології (від «нано» – К. Ерік Дрекслер, 1977) – у широкому значенні слова прийнято називати міждисциплінарну галузь фундаментальної і прикладної науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток нанометра (нанометр – це одна мільярдна частка метра або, що те ж саме, одна мільйонна частка міліметра – діаметр людської волосини становить близько 80 тис. нанометрів).

Вісн. НАН України, 2017, № 11) НАН України, 2017, № 11, Петрушина Т. О., доктор соціологічних наук, завідувачка відділу економічної соціології Інституту соціології НАН України склала таку діаграму (рис. 3).

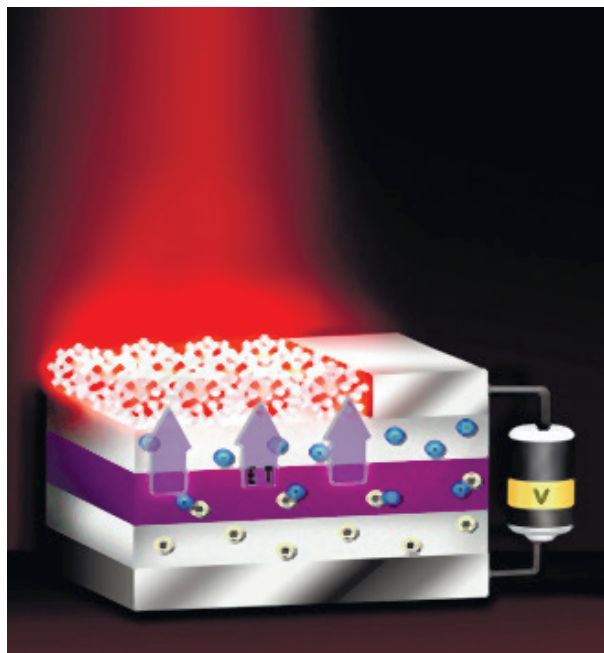


Рис. 2. Пристрій передає енергію від нанотонких шарів квантових ям нанокристалам над ними, змушуючи нанокристали випромінювати видиме світло

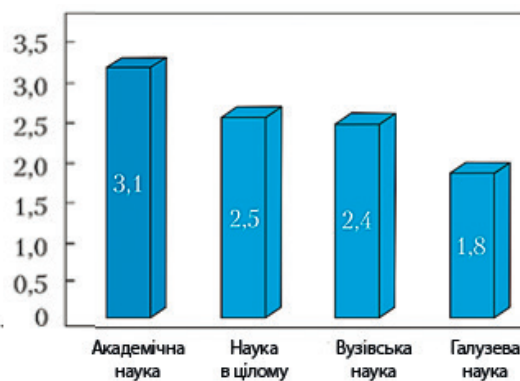


Рис. 3. Оцінка українськими експертами стану науки в Україні

РОЗДІЛ 1. УМОВИ РОБОТИ МАШИН, РУЙНУВАННЯ ТА ЗНОС

1.1.1. Машина як об'єкт експлуатації

1.1.2. Умови роботи обладнання, їх вплив на спрацювання деталей

1.1.3. Класифікація механічних видів спрацювання з умов їх виникнення

1.1.4. Основні пошкодження приводів і передач. Типи відмов

1.1.5. Види руйнування та зносу

1.1.6. Механічні руйнування

1.1.7. Хімічний знос

1.1.8. Термічне руйнування

1.1.9. Електроруйнування

1.1.10. Кавітація

1.1.11. Методи захисту від корозії і втоми металів

1.1.1. Машина як об'єкт експлуатації

Класифікація промислового устаткування

У промисловості застосовують різноманітні машини, які складаються з різних механізмів та складальних одиниць (вузлів), які, в свою чергу, є комплексами з великих та малих деталей, різноманітних за формою, матеріалом та властивостями.

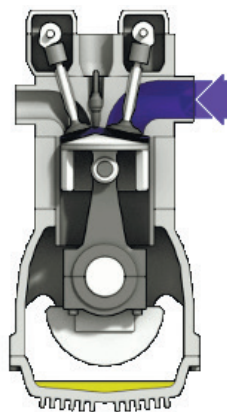


Машина – це механічний пристрій з по-
годжено працюючими частинами, які ви-
конують визначені доцільні рухи для пере-
творення енергії, матеріалів та інформації.

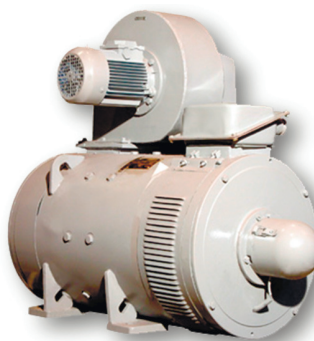
Залежно від характеру роботи, яку виконує ма-
шина, їх можна розділити на машини-двигуни, ма-
шини-знаряддя, транспортні машини, керуючі ма-
шини.



Машини-знаряддя – це машини, що вико-
ристовують механічну роботу машин-двигу-
нів для виконання технологічних опера-
цій, тобто операцій обробки, переробки
різних матеріалів, виготовлення різноманітних
виробів, частин (деталей) машин тощо.



Машини-двигуни при-
значені для перетворення
теплової, електричної та
іншої енергії в механічну
роботу. До них відносять:
електродвигуни, двигуни
внутрішнього згоряння, га-
зові, парові турбіни, гідро-
та пневмодвигуни та інші.



**Машини-генера-
тори** перетворюють
механічну енергію в
інший вид енергії. До
них відносять ком-
пресори, динамо-ма-
шини та інші.

Рис. 1.1. Електрична машина постійного
та змінного струму

Машиною-знаряддям є, наприклад, токарний станок, автоматична лінія, прес та інші; транспортувальні машини, наприклад, мостові крани, автокрани, конвеєри та інші. Сполучення машин-двигунів, передавальних механізмів, машин-знарядь утворюють машинний агрегат.

Використання промислового обладнання для виконання визначених задач під час планування та здійснення процесу технічного обслуговування

та відновлення працездатності цього обладнання, що складає процес експлуатації, який планується і здійснюється паралельно з виробничими процесами, і є складовою його частиною для забезпечення ефективного використання обладнання. Матеріальна база ремонтного обслуговування: обладнання, пристрої, службові приміщення, кадри, матеріальне забезпечення, планування, керування, службова документація.

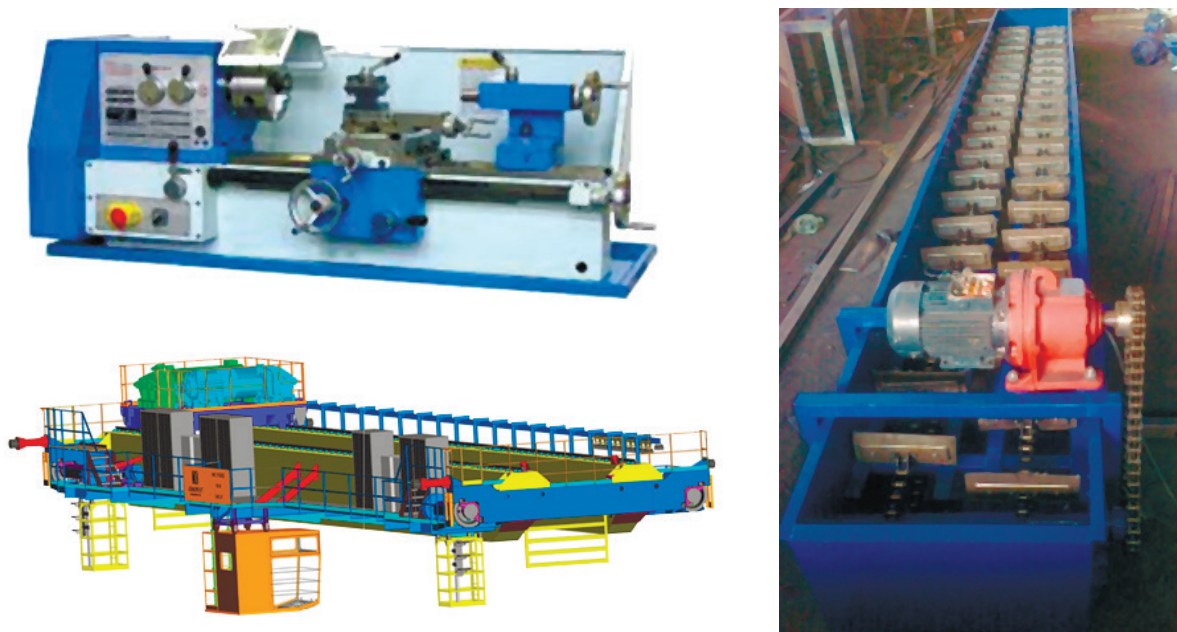


Рис.1.2. Машини-знаряддя



Рис.1.3. Керуючі машини

Керуючі машини – це автоматизовані комплекси для керування складними об'єктами, системами чи різноманітними взаємопов'язаними об'єктами, що мають у своєму складі одну чи декілька обчислювальних машин. Всі машини складаються з деталей, які об'єднані в механізми, складальні одиниці (вузли).

Фотозвіт



1.1.2. Умови роботи обладнання, їх вплив на спрацювання деталей



Кожне виробництво – це система, що включає сировину, пристрої та працівників для переробки сировини, джерела живлення енергією пристроїв для переробки сировини.

Оскільки система має декілька окремих складових, то для її функціонування треба мати підсистему керування, яка б забезпечувала узгодженість дій системи, спрямованої на переробку сировини у готову продукцію. Система включає і пристрої для переробки, а вони зношуються, виходять із ладу, отже, для підтримування її дієздатності потрібна ще й підсистема підтримки обладнання у робочому стані (підсистема відновлення). Спрощену логічну схему виробничого процесу наведено на рис. 1.4.



Усі елементи системи пов'язані між собою. Розглянемо лише зв'язок між підсистемою відновлення та засобами виробництва. Можливі три випадки:

- необхідний обсяг ремонтних робіт перевищує можливості підсистеми відновлення. В такому випадку обладнання прискорено зношується;
- ремонтне господарство задовольняє потокові потреби в ремонті машин. Знос машин проходить повільно, але старіння неухильне;
- ремонтне господарство задовольняє потокові потреби в ремонті та відновленні машин та забезпечує можливість компенсувати не тільки фізичний, але й моральний знос.

Питання забезпечення ефективного функціонування виробництва і є предметом вивчення у курсах, пов'язаних з експлуатацією, технічним обслуговуванням, ремонтом та монтажем обладнання металургійних заводів.

Умови роботи слід розглядати як основу для усунення шкідливих дій навколишнього середовища: небезпечних хімічних речовин, іонізуючого і неіонізуючого випромінювання, ультрафіолетового, інфрачервоного і, за деяких обставин, оптичного випромінювання, електричних і магнітних полів, виробничого пилу, шуму, вібрації, високих і низь-



Рис.1.4. Схема виробничого процесу

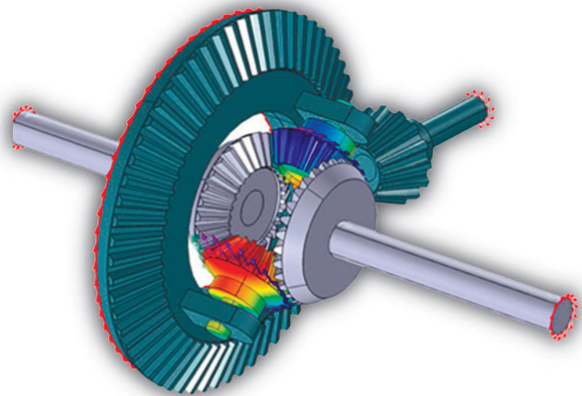
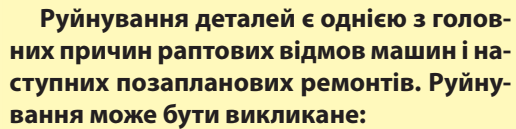


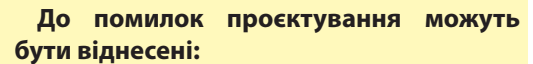
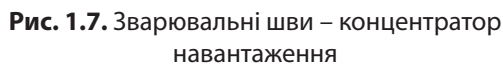
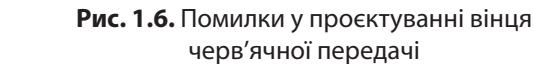
Рис.1.5. Місця руйнування зубчастої передачі

ких температур і вологості або контролю над ними. Шкідливий та агресивний вплив на деталі та вузли машин викликають пошкодження їх поверхонь, зміну геометричних форм, виникнення руйнувань молекулярної структури та інше.

1.1.3. Класифікація механічних видів спрацювання з умов їх виникнення



- порушенням технології виготовлення деталей;
- порушенням правил експлуатації;
- природними процесами накопичення пошкоджень від втоми матеріалу;
- зношенням матеріалу;
- старінням матеріалу.



- наявність проточок, зварних швів у найбільш навантажених зонах деталей.

- невідповідність марки матеріалу технічним умовам креслень;

- забоїни при складанні чи транспортуванні;
- перевантаження чи ослаблення затягування різьбових, шплінтових та інших з'єднань;
- невідповідність класу шорсткості поверхонь і зміцнювального виду обробки технічним умовам на кресленні.

- роботу в умовах, які не відповідають умовам застосування;

- невиконання регламенту профілактичних заміन деталей;
- порушення режимів технічного обслуговування;
- невідповідність режимів навантаження і змащення вимогам технічної документації.



Рис. 1.8. Змащування черв'ячної пари

Аналіз зломів деталей показує, що в кожному з них можна виділити: фокус злому (початок руйнування), зону повільного розвитку тріщини і зону миттєвого розвитку тріщини (зону долому).

Вигляд злому залежить від матеріалу деталі, характеру її навантаження, місця розташування концентратора напруги. Так, наприклад, якщо руйнування виявлено під кутом 45° , то воно виникло від циклічних навантажень при обертових моментах.

Якщо надлом виник під кутом, близьким до 90° , то причина руйнування у значних обертових перевантаженнях, а також повторних згинальних навантаженнях. За наявності різкого концентратора надлом народжується на поверхні, перпендикулярній до осі валу. Дослідження надлому дає відповідь щодо причини руйнування.



Рис. 1.9. Утворення тріщин на деталях

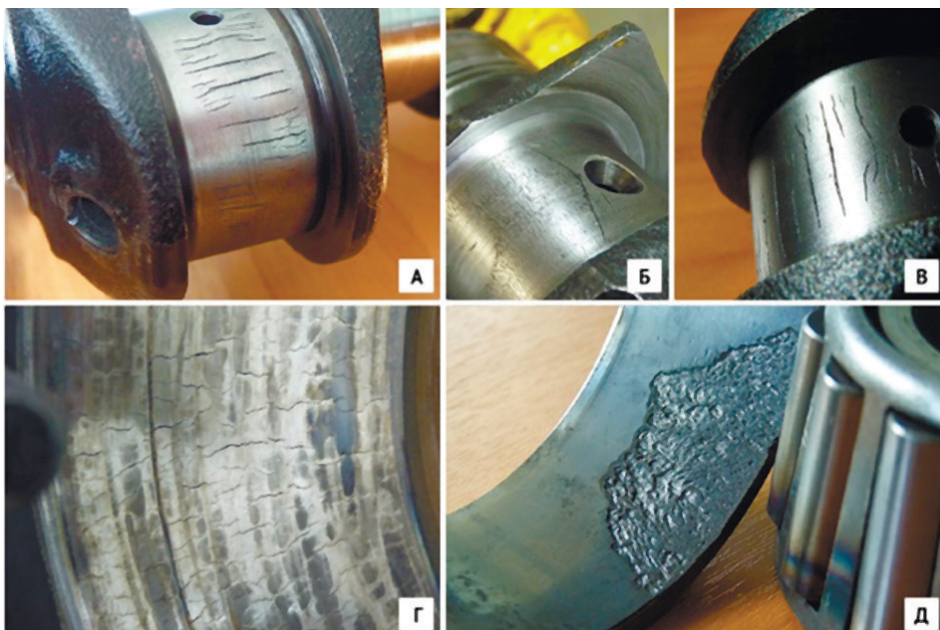


Рис. 1.10. Приклади виявлення тріщин на шийках колінчастих валів деталей (А, Б, В); на маховику колінчастого валу (Г); викришування в обоймі підшипника (Д)

1.1.4. Основні пошкодження приводів і передач. Типи відмов

У період експлуатації деталі устаткування отримують різноманітні пошкодження і руйнування (надлом, пластичні деформації, зношення), втрата пружності та ін., що призводить до втрати їх функцій, аварійних ситуацій тощо. В умовах експлуатації метою технічного обслуговування є попередження цих явищ.

Відмова (у техніці) – подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта, що настає за досягнення граничного стану, який полягає в досягненні вектором параметрів границі області працездатних станів.



За характером появи відмови бувають:

- раптові – відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом (помилки проектування, брак, дефект, неправильна експлуатація);
- поступові – відмова, спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта (наприклад, в результаті незворотних фізико-хімічних процесів в матеріалі – корозія, втома, повзучість, зношування)

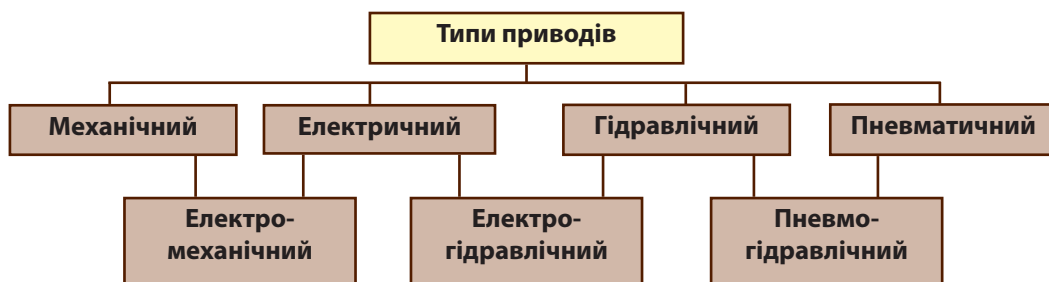


Рис. 1.11. Типи приводів

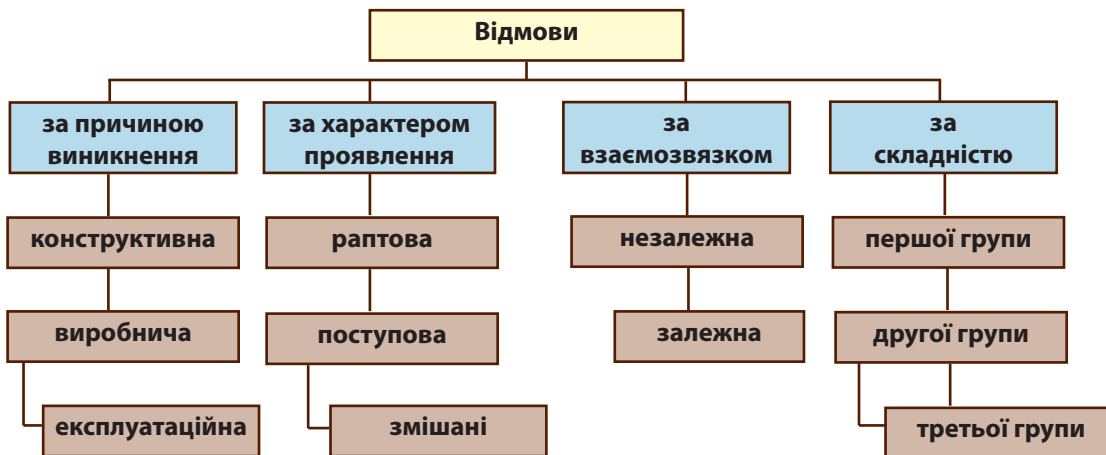


Рис. 1.12. Ієрархія відмов

1.1.5. Види руйнування та зносу

Руйнування (англ. fracture; failure) або руйнування матеріалу у механіці деформованого твердого тіла – зародження та розвиток у матеріалі дефектів і (або) розділення об'єкта на частини.

Основні поняття

У широкому розумінні слова під руйнуванням розуміється досягнення матеріалом такого стану, коли порушується конструктивна функція твердого тіла і воно стає непридатним до експлуатації. У прямому,

але вужчому розумінні слова, під руйнуванням (як вичерпанням міцності) розуміється поділ тіла на частини. Визначення механічних напружень чи деформацій в тілах ще не дає відповіді на питання про їх реальну міцність. Тому цариною застосування таких наук, як опір матеріалів і в цілому механіки деформованого твердого тіла, є оцінка міцності реальних матеріалів та елементів конструкцій з врахуванням умов їх експлуатації.



Перелік вміщує усі відомі види механічного руйнування:

1. Пружна деформація, викликана дією зовнішніх навантажень і (або) температури.
2. Плинність.
3. Брінелювання.
4. В'язке руйнування.
5. Крихке руйнування.
6. Утомленість: багатоциклова; малоциклова; термічна; поверхнева; ударна; корозійна; фретинг-втома.
7. Корозія: хімічна; електрохімічна; щілиста; точкова; міжкристалічна; виборче вилуговування; ерозійна; кавітаційна; водневе пошкодження; біологічна; корозія під напругою.
8. Знос: адгезійний; абразивний; корозійний; поверхневий втомний; деформаційний; ударний; фретинг-знос.
9. Руйнування внаслідок удару: розрив; деформація; ударний знос; ударний фретинг; втома.
10. Фретинг: фретинг-втома; фретинг-знос; фретинг-корозія.
11. Повзучість.
12. Термічна релаксація.
13. Розрив при короточасній повзучості.
14. Тепловий удар.
15. Заїдання і схоплювання.
16. Скол.
17. Радіаційне пошкодження.
18. Випучення.
19. Випучення при повзучості.
20. Корозія під напругою.
21. Корозійний знос.
22. Корозійна втома.
23. Повзучість зі втомою.

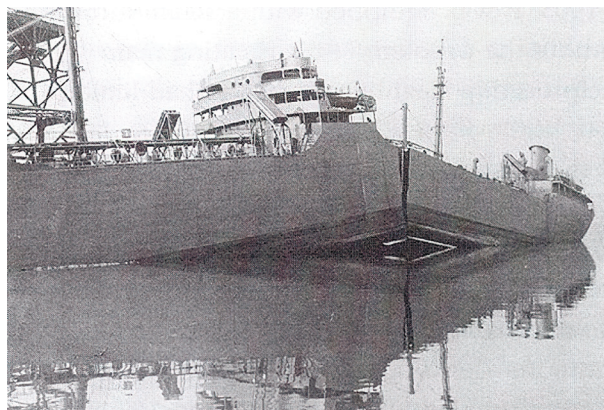


Рис. 1.13. Катастрофа танкера «Скенектаді» від крихкого руйнування корпусу

Очевидно, що для пластичних матеріалів під руйнуванням слід розуміти можливість появи неприпустимо великих деформацій у деталі чи конструкції, що приводить до втрати ними свого функціонального призначення. Слід зауважити, що для пластичних матеріалів виконання умови пластичності в одній точці тіла ще не означає втрати несучої здатності тіла в цілому. Тому розрахунок за методом допустимих напружень для пластичного матеріалу безумовно гарантує міцність елемента конструкції. У той же час деформації залишаються в межах допуску, і тому виявляється значний резерв міцності. Внаслідок збільшення зовнішнього навантаження зони досягнення пластичності розширюються і, нарешті, зливаються, у результаті чого тіло зазнає значних деформацій. Тому для пластичних матеріалів основою розрахунку на міцність є розрахунок за методом допустимих навантажень.

З іншого боку, пластичні матеріали за низьких температур руйнуються без помітних пластичних деформацій. Таке руйнування називають крихким і

воно настає в результаті розриву матеріалу. Руйнування крихкого матеріалу починається локально з окремої мікротріщини шляхом її розростання.

Локальне руйнування є джерелом концентрації напружень і може стати початком миттєвого руйнування тіла в цілому шляхом поділу на частини. Тому розрахунок крихких матеріалів на міцність за допустимими напруженнями у найнапруженішій точці тіла є у багатьох випадках виправданим.

Поділ матеріалів на пластичні й крихкі є умовним. Наприклад, крихкі матеріали (бетон, граніт тощо) за високого тиску і температур виявляють значні пластичні деформації.

Істотну роль в оцінці міцності відіграє час. Руйнування є процесом, що розгортається в часі, і тому може відбутися за різних напружень. Так, в умовах повзучості вводиться поняття часу руйнування, границі тривалої міцності (напруження, що приводить до руйнування через певний час). Іншими факторами, що суттєво впливають на поведінку матеріалів в умовах механічних навантажень, є температура та середовище експлуатації.

Отже, проблема міцності та руйнування залежить від багатьох факторів і є складною.

Напруження руйнування



Напруження руйнування розривом – це напруження розтягу, за якого випробувальний зразок зазнає руйнування.

Ця характеристика, переважно, визначається для цього зразка під час випробування на розтяг на розривних машинах за діаграмою деформування. Вона відповідає крайній правій точці на діаграмі.

Пластичні матеріали зазнають руйнування внаслідок навантажень, менших за границю міцності на розрив, тоді як у крихких матеріалів навантаження руйнування еквівалентне границі міцності. Якщо пластичний матеріал досягає своєї границі міцності на розтяг в умовах контрольованого навантаження, він буде продовжувати деформуватись без зростання навантаження аж до руйнування. Однак при розтягненні в умовах контрольованого переміщення буде спостерігатись зменшення навантаження.

Якщо діаграму деформування виразити в істинних напруженнях і деформаціях, то вона не буде мати спадної частини перед руйнуванням, оскільки істинне напруження розраховується за фактичною

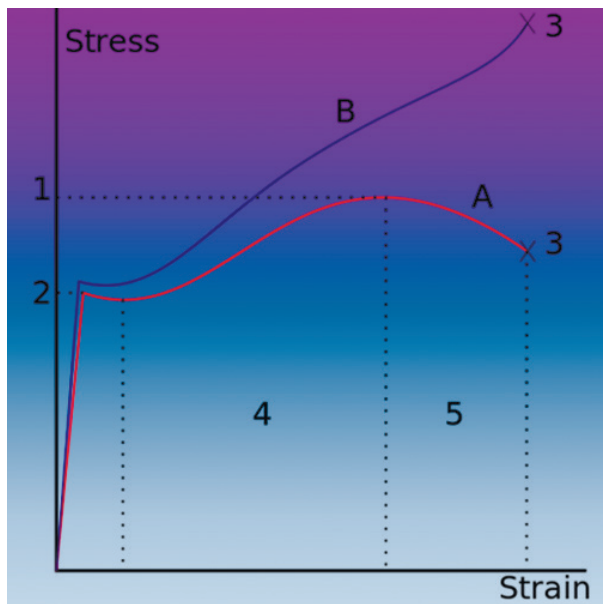


Рис. 1.14. Діаграма розтягу пластичного матеріалу (конструкційної сталі):

1 – границя міцності; 2 – границя плинності;
3 – руйнування; 4 – область деформаційного зміцнення; 5 – область деформаційного знеміцнення;

A – умовне напруження (F/A_0);

B – істинне напруження (F/A)

площею поперечного перерізу, яка зменшується в умовах розтягування. Істинне питоме навантаження на матеріал під час розриву відоме як напруження руйнування. Це максимальне напруження на істинній діаграмі деформування (точка 3 на кривій B).

Класифікація видів руйнувань



В'язке (пластичне) – руйнування, що супроводжується розвитком пластичних деформацій у матеріалі.

Відбувається після суттєвої пластичної деформації всього або майже всього об'єму тіла. Прикладом в'язкого руйнування може бути розрив зразка з відпаленої міді після 100% звуження шийки при розтягуванні, що відбувається в результаті втрати здатності матеріалу чинити опір пластичній деформації.



Рис. 1.15. Приклад в'язкого руйнування в умовах розтягу

Основним видом руйнувань деталей машин є в'язке руйнування, яке характеризується інтенсивною пластичною деформацією матеріалу деталі на всіх етапах руйнування. Злом за в'язкого руйнування має волокнисту будову і внаслідок сильної деформації зерен не має кристалічного блиску. Розвиток руйнування йде з малою швидкістю. В'язке руйнування найчастіше зустрічається в деталях з низько- і середньовуглецевих сталей. Причина його – помилки, які допущені у розрахунках на міцність, під час збирання, монтажу чи експлуатації.



До способів підвищення опору в'язкому руйнуванню відносять:

- обмеження перевантажень конструктивними рішеннями, які сприяють зниженню навантажень;
- застосування сталей з підвищеною границею міцності;
- застосування термічної обробки з середньотемпературним відпуском.

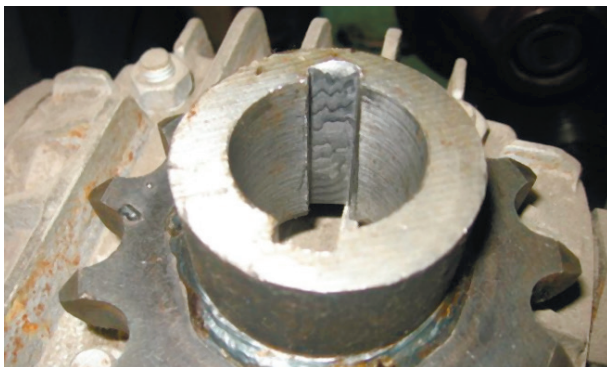


Рис. 1.16. Конструктивне рішення – проєктування двох шпонок на приводній зірочці

Крихке – руйнування без слідів пластичних деформацій у матеріалі. Відбувається в результаті поширення магістральної тріщини після пластичної деформації, зосередженої в області дії механізму руйнування. Крихке руйнування поділяється на ідеально крихке і квазікрихке (ніби-то крихке).

Ідеально крихке або крихке руйнування відбувається без пластичної деформації. Після руйнування можна заново скласти тіло колишніх розмірів з улаmkів без зазорів між ними.

Квазікрихке руйнування припускає наявність пластичної зони перед краєм тріщини (локальна зона пластичної деформації) і наклепаного матеріалу біля поверхні тріщини. Решта, значно більший за величиною об'єм тіла, знаходиться при цьому в пружному стані.

Злом при крихкому руйнуванні має чітку кристалічну будову. Для крихкого злomu характерна наявність блискучих ділянок великого розміру, які називають фасетками. Ознакою крихкого надлому є гладкі, рівні межі злomu без скосів чи з невеликими скосами.

Крихке руйнування характерне для деталей з середньо- та високовуглецевих сталей, які підлягають термічній обробці, зазнають ударного наванта-



Рис. 1.17. Крихке руйнування деталі

ження або напруги, яка перевищує межу міцності, а також при зменшенні ударної в'язкості в результаті дії низьких температур. Крім цього, такий вид руйнування може мати місце за статичного навантаження деталей з концентраторами напруги (зрізи, зварні шви, груба обробка) і за надвисокої твердості гартування.

Втомне – руйнування матеріалу під дією повторно-перемінних (часто циклічних) напружень в результаті накопичення незворотних ушкоджень. За цього виду руйнування на поверхні тіла спочатку з'являються мікротріщини, одна з яких в результаті багаторазового прикладання навантаження розростається до макротріщини з наступним повним руйнуванням зразка або деталі машин. Розрізняють багатоциклову або малоциклову втому.

Багатоциклова втома, або просто втома, характеризується номінальними напруженнями, меншими за границю плинності; повторне навантаження відбувається в пружній області аж до руйнування. Число циклів навантажувань становить 105 і більше. Малоциклова втома характеризується номінальними напруженнями, що перевищують границю плинності. Під час кожного циклу навантаження в тілі виникає макроскопічна пластична деформація. За такого виду навантаження число циклів навантажувань до руйнування не перевищує 104...105.

Руйнування від втоми має дві характерні зони: зону повільного розвитку тріщини (зону руйнування від втоми) і зону швидкого розвитку тріщини (зону долому). Зона руйнування від втоми має гладку матову поверхню, яка утворюється в результаті притирання поверхонь тріщини, що розвивається. Зона долому має кристалічну поверхню, яка показує, що кінцеве руйнування має характер крихкого, або хвильову поверхню, що засвідчує, що руйнування було в'язким.



Рис. 1.18. Руйнування від втоми щоки колінчастого вала. Нижня зона зламу: втомне руйнування; верхня зона: зона крихкого доламу



Крихкому надлому деталі запобігає :

- зниження жорсткості удару за допомогою різноманітних амортизаторів;
- обмеження навантаження деталі;
- об'ємне гартування і високотемпературний відпуск;
- скасування виливу концентраторів напруги.

Руйнування в умовах повзучості спостерігається внаслідок навантажень за досить високих температур в полікристалічних металах та в пластмасах. За цих умов у металевих матеріалах зв'язки на границі кристалічних зерен стають слабшими, ніж самі зерна, і значна частина деформації повзучості відбувається за рахунок ковзання зерен одне відносно одного. Це ковзання носить характер в'язкої течії, яка зазнає опору, так як зерна через неправильну форму взаємодіють з сусідніми зернами. Ковзання стає можливим за рахунок пластичної деформації зерен і супроводжується появою міжзеренних тріщин, котрі призводять до руйнування. Розрізняють декілька різновидів такого руйнування.

Процес повзучості, як правило, можна розділити на три стадії:

- 1 – неусталену, або первинну, під час якої швидкість деформації зменшується;
- 2 – усталену, або вторинну, коли швидкість деформації практично є постійною,
- 3 – третинну, коли швидкість деформації повзучості збільшується (часто досить швидко) аж до руйнування. Такий вид руйнування часто називають розривом при повзучості.

Термічна релаксація спостерігається, коли в процесі повзучості, що приводить до релаксації попередньо напруженої або деформованої деталі, її розміри змінюються так, що деталь вже не може виконувати призначеної їй функції. Наприклад, якщо попередньо напружені болти посудини, що працює в умовах високих температур, релаксують внаслідок повзучості так, що навантаження від максимального тиску перевищує попереднє навантаження і герметичність з'єднання порушується, говорять, що болти руйнуються внаслідок термічної релаксації.

Розрив при короточасній повзучості тісно пов'язаний з процесом повзучості, однак при цьому значення напружень і температури є такими, що елемент в'язко розділяється на дві частини за відносно короткий період часу. За цих умов період усталеної повзучості є дуже нетривалим або відсутнім зовсім.

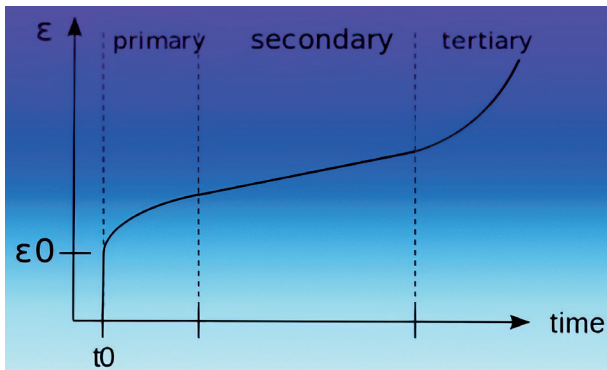


Рис. 1.19. Схематичне зображення тристадійного зростання видовження у часі в умовах повзучості, яке закінчується руйнуванням

Інші види руйнування

До інших видів руйнування можуть бути віднесені: бринелювання, кавітаційне руйнування, зношування (абразивне, ударне, адгезійне тощо), фретинг, руйнування внаслідок радіаційного uszkodження, руйнування внаслідок втрати конструктивної стійкості тощо.



Рис. 1.20. Схематичне зображення тристадійного зростання видовження у часі в умовах повзучості, яке закінчується руйнуванням

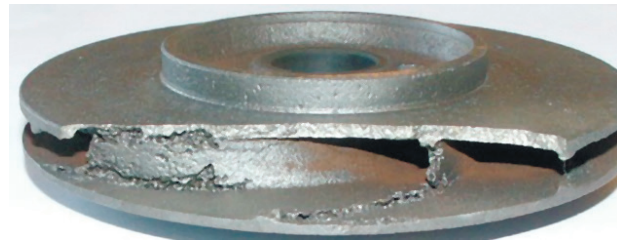


Рис. 1.21. Руйнування робочого колеса насоса, ушкодженого кавітаційною корозією



Рис. 1.22. Руйнування поплавця від втрати конструктивної стійкості під дією зовнішнього тиску



Рис. 1.23. Руйнування поверхні деталі від абразивного зношення

1.1.6. Механічні руйнування

Зношування є процесом деформації і руйнування поверхневих шарів, що відбувається в результаті механічної взаємодії мікронерівностей під час ковзання одного тіла по іншому.

Зближення шорстких поверхонь призводить як до контакту мікронерівностей, так і до взаємного проникнення мікровиступів однієї з поверхонь в

западини іншої.

У зв'язку з різною висотою мікронерівностей контактуючі мікровиступи навантажуються по-різному, тому одні з них зазнають пружних деформацій, інші – пластичних. За відносного переміщення поверхонь, що труться, мають місце усі відомі види деформацій – зминання, зрушення, вигин.

Важливо визначити, що деталі, що труться, стираються не усією видимою поверхнею, а лише мікрорівностями, плямами торкання. За підрахунками англійського вченого Боудена, фактична площа торкання складає 0,01...0,001 видимої поверхні (залежно від класу шорсткості). Через це питомі навантаження на окремі мікрорівності перевищують розрахункові значення в тисячі разів. (Середній розрахунковий тиск в підшипниках колінчастих валів двигунів складає 4 МПа, то й фактичний тиск на мікрорівностях може досягати 1400...4000 МПа). За такого тиску в контактних точках виникають температурні спалахи локального характеру. Показаний характер зносу підтверджується на практиці у вигляді задирих і напливів на поверхнях, що труться. З часом фактична площа торкання збільшується. Йде процес прироблення.

В період прироблення відбувається «перемелювання» старих мікронерівностей, отриманих під час механічної обробки, з утворенням нових. Значна частина роботи тертя (70...80 %) переходить в теплоту, тому температура на поверхнях тертя різко підвищується.

За сталого тертя тепловий баланс стабілізується і поєднання набуває деякої середньої температури, відповідної II періоду нормального зношування.

Розділяючи процес зношування на два основні періоди (першопочатковий – прироблення і нормального зношування), механічна теорія отримала досить стрункий вигляд. Проте, знаходячись на позиціях механічної теорії, неможливо пояснити деякі явища, що відбуваються при зношуванні матеріалів. Так, якщо вважати, що зношування – наслідок лише процесів деформації і руйнування поверхневих шарів під час механічної взаємодії мікронерівностей, то як пояснити той факт, що чисто оброблені поверхні в процесі тертя і зношування отримують певну шорсткість? Не видається можливим пояснити і те, що поверхні з високими механічними властивостями під час тертя об м'які поверхні зношуються.

Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (чи) накопичення його залишкової деформації під час тертя, що проявляється в поступовій зміні розмірів і (чи) форми тіла.

Знос – результат зношування, що визначається у встановлених одиницях довжини, об'єму, маси та ін. Знос може бути природним (нормальним) і передчасним (аварійним).

При зношуванні можуть виникати такі явища і процеси, як схоплювання при терті, перенесення

матеріалу, заїдання, дряпання, відшаровування, вифарбовування та ін.

Знос може бути граничним, допустимим і місцевим.

Зношування характеризується швидкістю і інтенсивністю. Швидкість зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, впродовж якого він виник. Розрізняють миттєву (у певний момент часу) і середню швидкості зношування (за певний інтервал часу). Інтенсивність зношування – відношення величини зносу до обумовленому шляху, на якому відбувалося зношування, або об'єму виконаної роботи. Розрізняють миттєву і середню інтенсивності спрацювання.



Властивості матеріалу чинити опір зношуванню у визначених умовах тертя, оцінюване величиною, зворотною швидкості спрацювання або інтенсивності зношування, називають **зносостійкістю**.

Нині встановлено три групи видів зношування: механічне, корозійно-механічне і під дією електричного струму.

Механічне зношування відбувається в результаті механічних дій. До механічного відносять абразивне, гідроабразивне (газоабразивне), ерозійне, газоерозійне, кавітацію і втомне зношування, а також зношування при фретинг-корозії і заїданні.

Абразивне зношування – механічне зношування матеріалу в основному в результаті різальної або дряпаючої дії твердих частинок, що знаходяться у вільному або закріпленому стані. Абразивними частинками можуть бути тверді включення, наявні в матеріалі деталі, продукти зносу, а також абразивні частинки, що потрапляють ззовні. Інтенсивність абразивного зношування залежить від фізико-механічних і структурних властивостей матеріалу деталі, абразиву, зовнішнього середовища, а також режиму і умов роботи.

Твердість і розміри абразивних частинок – істотні чинники в процесі зношування. Зі збільшенням середнього розміру зерна абразиву інтенсивність зношування підвищується до визначеного критичного значення, а потім стабілізується. Для сталі, наприклад, це критичне значення відповідає розміру зерна абразиву, приблизно 100 мкм, а для кольорових металів – 150 мкм. Зі зменшенням різниці між твердостями абразивних часток і металу знижується інтенсивність їх зношування.

Ріст навантаження призводить до пропорційного збільшення інтенсивності абразивного зношування. За досягнення навантаженням деякого критичного значення процес зношування сповільнюється і протікає за лінійним законом. Ця закономірність порушується за динамічних режимів навантаження.

За абразивного зношування можливі наступні види руйнування поверхні металу: метал пластично деформується, пластично не деформується, але з поверхні відбувається виколювання часток, пластично деформується і відділяється стружка (рис. 1.24).

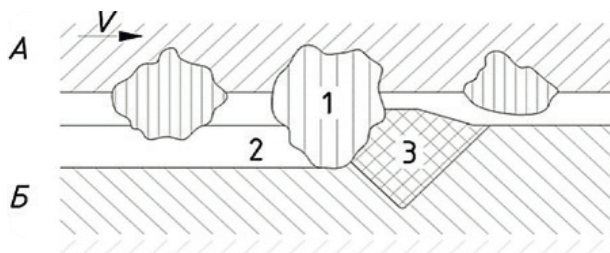


Рис. 1.24. Схема спрацювання деталі при ковзанні

Тверде зерно 1 рухомої деталі А утворює канавку 2 в зв'язаній деталі Б. Стружка, що утворилася 3, ущільнюється і виявляється твердішою за матеріал деталі А, в якій закріплено зерно 1. В результаті цього зерно 1 виривається і, упираючись в стружку 3, утворює канавку в деталі А. Так відбувається взаємне спрацювання обох поверхонь. Абразивному зношуванню піддаються зуби ковшів, різальні кромки робочих органів, зубчасті передачі, підшипники, осі, вали, деталі гусениць, броня дробарок, рештаки, шнеки та ін.

Втомне зношування – механічне зношування в результаті втомного руйнування за повторної деформації мікрооб'ємів матеріалів поверхневого шару. Воно може відбуватися як при терті кочення,



Зношування при фретинг-корозії – механічне зношування дотичних тіл за малих коливальних відносних переміщень.

Зношування при заїданні – зношування в результаті схоплювання, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і дії виниклих нерівностей на зв'язану поверхню. Зношування при заїданні характерно для гільз, кілець, поршнів, підшипників ковзання, зубчастих коліс та ін.

Корозійно-механічне зношування відбувається в результаті механічної дії, що супроводжується хімічною і (чи) електричною взаємодією матеріалу з середовищем. До нього відносять окислювальне зношування і при фретинг-корозії.

Окислювальне зношування – вид корозійно-механічного спрацювання, за якого основну дію чинить хімічна реакція матеріалу з киснем або окислювальним середовищем.

Зношування при фретинг-корозії – вид корозійно-механічного зношування дотичних тіл за малих коливальних відносних переміщень. Спостерігається у посадочних поверхнях шестерень, у болтових і заклепувальних з'єднаннях та ін.

так і при терті ковзання. В результаті тривалої дії на деталі повторно-змінних навантажень, що перевищують межу плинності металу, відбувається багаторазова пластична деформація поверхневих шарів, що призводить до утворення втомних макро- і мікроскопічних тріщин. В процесі роботи машини тріщини розвиваються, призводять до відшаровування частинок гранично деформованого металу з поверхні і утворення поглиблень і западин, глибина яких залежить від механічних властивостей металу деталі, величини тисків в місці контакту і розміру контактуючих поверхонь. До втомного зношування схильні підшипники кочення, шестерні, шатуни, півосі, колінчасті вали та ін.

1.1.7. Хімічний знос

Хімічне руйнування металів під дією на їхню поверхню зовнішнього агресивного середовища називають корозією. Корозія металів може відбува-

тися в атмосфері, в агресивних середовищах (розчинах кислот, лугів, солей), в сухих газах за високих температур.

Хімічна корозія — це руйнування металу внаслідок окиснення його окисниками, що містяться в корозійному середовищі



Рис. 1.25. Хімічна корозія

Корозійне руйнування

Корозійне руйнування відбувається внаслідок хімічних і електрохімічних процесів і реакцій. Корозія зазвичай не змінює механічних властивостей матеріалу, а призводить через ерозію матеріалу до поступового рівномірного зменшення розмірів навантаженої деталі чи появи концентраторів напружень, наприклад, внаслідок поступового розчинення. В результаті напруження, що діють в небезпечному перерізі, зростають і, коли вони перевищать граничний рівень, відбудеться руйнування. Розрізняють декілька різновидів корозійного руйнування.

Руйнування в результаті корозії під напруженням спостерігається, коли механічні напруження призводять до виникнення локальних поверхневих тріщин, розташованих зазвичай вздовж границь зерен, в деталі, що знаходиться в корозійному середовищі. Часто утворення тріщин ініціює початок процесів руйнування інших видів. Руйнування в результаті корозії під напруженням є небезпечним видом корозійного руйнування, до якого схильні чавуни, сталі, мідні та алюмінієві сплави.

Руйнування внаслідок корозійного зносу є складним видом руйнування, за якого несприятливі спільні наслідки корозії і зносу призводять до втрати працездатності деталі. У процесі корозії часто утворюються тверді абразивні частинки, які прискорюють зношування, а в процесі зношування в свою чергу з поверхні постійно видаляються захисні шари і оголюється свіжий метал, що прискорює корозію. Взаємний вплив цих процесів один на одного істотно підвищує небезпеку руйнування.



Рис. 1.26. Руйнування паропроводу в результаті корозійної ерозії

Корозійна втома – складний вид руйнування, за якого спільно виявляються несприятливі ефекти корозії і втоми, що призводять до руйнування. У процесі корозії на поверхні металу часто утворюються ямки, що стають концентраторами напружень. У результаті концентрації напружень процес втомного руйнування прискорюється. Крім того, тріщини в тонкому шарі продуктів корозії є зародками втомних тріщин, що поширюються в основний метал. З іншого боку, в результаті дії циклічних напружень або деформацій відбувається розтріскування і відшаровування продуктів корозії, тобто відкривається доступ корозійного середовища до свіжого металу. Таким чином, обидва процеси прискорюють один одного, і небезпека руйнування зростає.

Щілиста корозія – значною мірою локалізований швидкий процес в щілинах, тріщинах або стиках, тобто в місцях, де затримуються малі кількості розчину, який контактує з металом. Точкова (піттингова) корозія є локалізованими діями, в результаті яких відбувається утворення заглиблень і ямок на поверхні металу. Міжкристалічна корозія характеризується локальними діями на межах зерен деяких мідних, хромових, нікелевих, алюмінієвих, магнієвих і цинкових сплавів після неправильної



Рис. 1.27. Корозія на зубчастому зачепленні

термообробки або зварювання. Утворення локальних гальванічних осередків, в яких осідають продукти корозії, приводить до істотного зниження міцності матеріалу в результаті міжкристалічної корозії. Вибіркове вилугування є корозійним процесом, в результаті якого зі сплаву видаляється який-небудь елемент. Прикладами можуть бути процеси знецинкування латуні і графітизації чавуну.

1.1.8. Термічне руйнування

Коли циклічні навантаження і деформації виникають в деталі в результаті дії циклічно змінного температурного поля, таке явище зазвичай називають термічною втомою. Руйнування, зване поверхневою втомою, звичайно відбувається за наявності контактуючих поверхонь, що обертаються. Виявляється воно у вигляді пітінгу, розтріскування і фарбування контактуючих поверхонь в резуль-

таті дії контактних напружень, під впливом яких на невеликій глибині біля поверхні виникають максимальні за величиною циклічні дотичні напруження. Ці напруження приводять до виникнення тріщин, які виходять на поверхню, при цьому деякі частинки матеріалу відокремлюються. Це явище часто вважають різновидом зносу.

1.1.9. Електроруйнування

У деяких випадках практики корозія металевих виробів має місце внаслідок зіткнення їх з електrolітами. При цьому виникає різниця електродних потенціалів між двома різнорідними металами або між різними фазами сплаву, між ділянками одного металу, що знаходяться в різному фізико-хімічному стані, тощо. Ця різниця викликає процеси

електрохімічної корозії, аналогічні процесам, що протікають в гальванічному елементі. Електрохімічною корозією називають процес руйнування металу, що відбувається під дією розчину електроліту і супроводжується протіканням електричного струму від однієї частини металу до іншого.

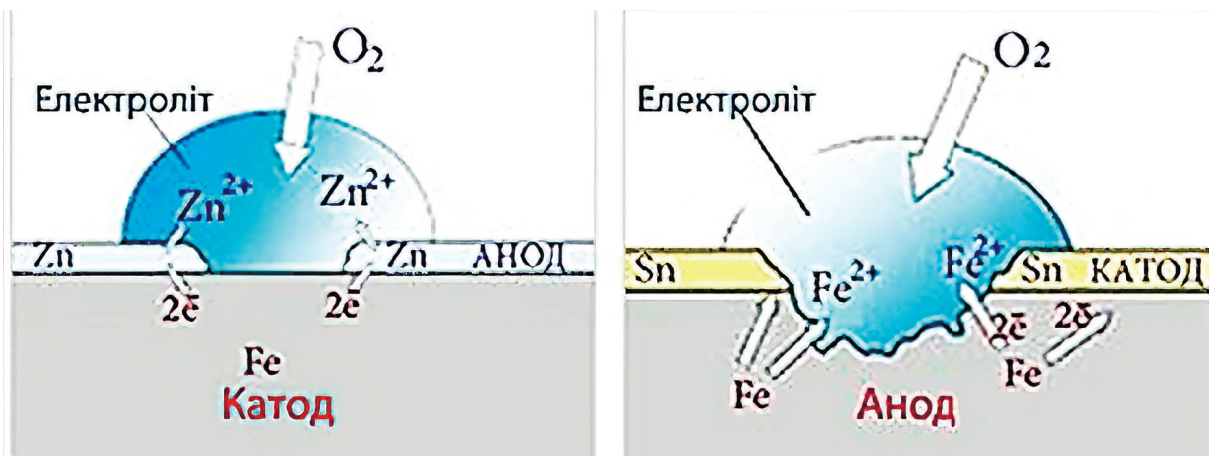


Рис. 1.28. Електрохімічне руйнування

До зношування під дією електричного струму відносять електроерозійне зношування. Останнє є ерозійним спрацюванням поверхні в результаті дії розрядів за проходження електричного струму.

1.1.10. Кавітація



Ерозійна корозія – це швидкоплинний хімічний процес, внаслідок якого в результаті дії абразивних речовин або потоків в'язких матеріалів на поверхні матеріалу в місці контакту з корозійним середовищем оголюється свіжий незахищений матеріал. Кавітаційна корозія спостерігається, коли під впливом тиску пару пухирці і каверни в рідині лопаються на поверхні матеріалу, внаслідок чого видаляються частинки матеріалу і відкривається доступ корозійному середовищу до свіжого, незахищеного матеріалу.

Зношування кавітації – гідроерозійне зношування під час руху твердого тіла відносно рідини, за якого бульбашки газу закриваються поблизу поверхні, що створює місцеве підвищення тиску або температури.

Водневе пошкодження. До цього виду пошкодження відносять насичення воднем, водневе окрихчування і зневуглицювання. Біологічна корозія є процесом корозії унаслідок активності живих організмів.



Рис. 1.29. Кавітаційне зношування робочого колеса насоса

Кавітація у трубопроводі
(модель)



1.1.11. Методи захисту від корозії і втоми металів

Методи захисту металів від корозії:

1. Створення антикорозійних сплавів (легування).

2. Збільшення чистоти індивідуального металу.

3. Механічна та хімічна пасивація металів (залізо в концентрованих сірчаній або азотній кислотах; залізо, нікель, кобальт, магній у розчинах лугів; утворення оксидної плівки, наприклад, на алюмінії тощо).

4. Покриття поверхні металу різними захисними плівками. Плівки поділяють на неметалічні (фарби, лаки, мастильні матеріали) та металічні (анодні, катодні). Анодним називають покриття, що утворене металом, який стоїть в ряду напруг до металу, що захищають (покриття активнішим металом; наприклад, покриття заліза цинком, кадмієм). За місцевих руйнувань покриття кородувати буде менш благородний метал, оскільки утворюватиметься локальний гальванічний елемент, в якому катодом є метал, що захищають (основний метал), а анодом – покриття, яке окислюється. За анодного захисту суцільність покриття значення не має. Що товщим є анодне покриття, то довше воно буде захищати інший метал. Катодним називають покриття металом з більшим потенціалом (за значенням потенціалу у ряду напруг стоїть після металу, що захищають, наприклад, покриття низьколегованих сталей міддю, оловом, нікелем, сріблом). Покриття має бути суцільним, оскільки внаслідок його пошкодження утворюватимуться локальні гальванічні елементи, в яких основний метал буде анодом (кородуватиме), а метал покриття – катодом.

5. Електрохімічний захист: катодний – створення катодної поляризації: металевий виріб підключається до негативного полюсу зовнішнього джерела постійного струму (стає катодом, при цьому зростає швидкість виділення на ньому водню, а швидкість корозії знижується), а до позитивного полюсу приєднують малоцінний метал; у такий спосіб вельми часто захищають підземні трубопроводи; протекторний – аналогічний до анодного покриття: з'єднують основний метал з іншим металом (протектором), який в ряду напруг розташований лівіше. Утворюється гальванічний елемент, в якому основний метал – катод, а протектор – анод (кородує). Часто для протекторного захисту застосовують магній або алюміній (захищають рейки, щогли та інші конструкції). Протектор поступово

розчиняється, тому його потрібно періодично замінювати. Протекторний захист ефективний у струмопровідному середовищі (наприклад, у морській воді).

6. Дія на агресивне середовище – цей метод є ефективним тоді, коли йдеться про не дуже великий об'єм струмопровідної рідини: деаерація – вилучення кисню з агресивного середовища внаслідок продування інертним газом; введення в середовище інгібіторів – уповільнювачів корозії. Наприклад, у випадку кислотної корозії зазвичай це органічні речовини, молекули яких містять аміно-, іміно-, тіо- та інші групи. Вони добре адсорбуються на поверхні металу та суттєво знижують швидкість електрохімічних реакцій, що призводять до корозії.

Захист металів від втоми



Незважаючи на те, що **втома** – це властивість, притаманна самій природі металу, подібні катастрофи, спричинені втомою напругою, зараз трапляються рідко. Річ у тому, що закони втоми вже добре вивчені. Це дозволяє вести з нею організовану боротьбу в конструктивному, технологічному і металургійному напрямках. Але для початку поговоримо про те, як можна визначити, що метал починає втомлюватися.



Для цього існує кілька методів:

- **Візуальний контроль.** Виявлення тріщин або інших деформацій
- **Прослуховування.** Пошкоджений метал видає специфічний стукіт
- **Ультразвуковий контроль і радіологічне дослідження (рентген).** У цьому сенсі діагностика металевої конструкції і людського тіла дуже схожі
- **Флуоресцентні пігменти.** Вони роблять тріщини видимими
- **Магнітні порошки.** Застосовуються для деталей, виготовлених із заліза.

Окремо зауважимо, що якщо метал перебуває в середовищі, що має шкідливу дію або, інакше ка-

жучи, в корозійному середовищі, він реагує особливим чином. Корозія значно сприяє збільшенню втомної тріщини, яка при цьому може зароджуватися за менших напруг, а поглиблюватися прискореними темпами. Виникає так звана корозійна втома металу. Захист від неї дають всілякі поверхневі покриття – від забарвлення до гальванізації.

Конструктивні заходи боротьби з втомою полягають в наданні деталям таких форм, у яких відсутні гострі або мало закруглені вхідні кути, різкі переходи перетинів, виточки малого радіуса та ін. В іншому разі виникає небезпека різкої концентрації напружень. Часто для усунення конструктивних помилок дотатньо просто збільшити розміри деталі. Це знизить напругу і буде перешкоджати перевиконанню меж втоми.

Технологічні заходи боротьби з втомою часто зводяться до правильної технологічної обробки деталей. Наприклад, в деталях з високоміцної сталі насамперед звертається увага на шліфування

поверхні. При цьому неправильне складання конструкцій також здатне створити небезпечні змінні напруги.

Не можна забувати і про металургійну лінію боротьби з полумками від втоми. Центрами, з яких починається втомна тріщина, можуть бути сторонні включення, що трапляються в металі через забруднення під час його відливання (наприклад, шлакові включення). Однак зазначимо, що на сучасному етапі розвитку галузі провідні металургійні підприємства цілеспрямовано працюють як над підвищенням чистоти металу, так і над удосконаленням хімічного складу і процесів термообробки продукції, що випускається.

В результаті інженери і будівельники зараз мають справу з принципово іншими, міцнішими сортами сталі. Їм все ще знайома втома, але критичні полумки металевих конструкцій і деталей через втомну напругу зведені майже до мінімуму.



Питання для самоконтролю

1. Пояснити класифікацію промислового обладнання.
2. Що таке машина як об'єкт експлуатації?
3. Що називають експлуатацією промислового обладнання?
4. Назвати причини, наслідки, форми руйнування деталей.
5. Які експлуатаційні порушення приводять до поломки деталей машин?
6. Якими показниками характеризують в'язке руйнування?
7. Пояснити, коли настає крихкий надлом деталі.
8. Назвіть заходи боротьби із корозією.

РОЗДІЛ 1.2. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ДІАГНОСТИКУ РУЙНУВАНЬ ТА ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ

1.2.1. Значення діагностики відмов металургійних машин. Системи контролю

1.2.2. Класифікація методів проведення технічного діагностування машин, вузлів і механізмів

1.2.3. Методи замірів зносу деталей

1.2.4. Органолептичні методи оцінювання технічного стану обладнання

1.2.5. Загальні положення неруйнівного контролю

1.2.6. Магнітно-люмінесцентна дефектоскопія

1.2.7. Ультразвукова дефектоскопія, рентгенотелескопія

1.2.1. Значення діагностики відмов металургійних машин. Системи контролю

Діагностика машин



Діагностика – галузь знань, що досліджує технічний стан об'єктів діагностування і прояв технічних станів, розробляючи методи їх визначення, а також принципи побудови і організацію використання систем діагностування.

Коли об'єктами діагностування є об'єкти технічної природи, говорять про технічну діагностику.

Об'єкт технічного діагностування – технічний об'єкт, стан якого визначають без його розбирання або з частковим розбиранням.

Ним може бути машина, її системи, агрегати, вузли, механізми. Щоб визначити, у якому стані знаходиться машина або її елемент, необхідно знати параметри технічного стану (структурні параметри), задані нормативно-технічною документацією заводу-виготовлювача.

Технічне діагностування – процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю.

Технічний стан об'єкта діагностування – сукупність схильних до зміни в процесі виробництва або експлуатації властивостей об'єкта, що характеризується в певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією на цей об'єкт.

Видами технічного стану є, наприклад, справне, працездатне несправне, непрацездатне та ін.

залежно від значень параметрів у визначений момент часу. До чинників, під впливом яких змінюється технічний стан об'єкта, можна віднести дії кліматичних умов, старіння протягом часу, операції регулювання і налаштування в ході виготовлення або ремонту, заміну елементів, що відмовили, тощо. Про зміну технічного стану об'єкта судять за значеннями діагностичних (контрольованих) параметрів, що дозволяють визначити технічний стан об'єкта без його розбирання.

Контроль технічного стану – перевірка відповідності значень параметрів об'єкта вимогам технічної документації і визначення на цій основі одного із заданих видів технічного стану у визначений момент часу.

Параметр технічного стану – фізична величина, що характеризує працездатність або справність об'єкта діагностування, що змінюється в процесі роботи.

В процесі тривалої роботи машин в її деталях, агрегатах та системах виникають незворотні процеси, несправності, пошкодження, що призводять до погіршення їх експлуатаційних властивостей та зниження ефективності використання і втрати працездатності. Технічний стан машини визначається якісними показниками конструктивних параметрів, які під час експлуатації під дією різноманітних факторів змінюються від початкових (номінальних) значень, що відповідають новому виробу, до гранично-допустимих, а потім до граничних значень. Технічний стан є функцією часу. Сферу експлуатації цікавлять не тільки й навіть не стільки початкові



Рис. 1.30. Структурно-наслідкова діагностична модель

показники якості, але, насамперед, динаміка їхньої зміни в процесі використання машин у період їхньої експлуатації. Аналіз та оцінювання кількісної зміни показників якості в часі здійснюється за допомогою найважливішої властивості виробу – надійності. Залежно від ступеня зміни технічного стану машини в теорії надійності розглядають такі його різновиди: працездатний, непрацездатний, справний, несправний і граничний стани машини.

Алгоритм діагностування (контролю) встановлює склад і порядок проведення елементарних перевірок об'єкта і правила аналізу їх результатів. Елементарна перевірка визначається робочою або тестовою дією, що надходить або подається на об'єкт, а також складом ознак і параметрів, що створюють відповідь об'єкта на відповідну дію.

Конкретні значення ознак і параметрів, що отримують під час діагностування (контролю), є результатами елементарних перевірок або значеннями відповідей об'єкта. Розрізняють безумовні алгоритми

діагностування (контролю), у яких порядок виконання елементарних перевірок визначений заздалегідь, і умовні алгоритми діагностування (контролю), у яких вибір чергових елементарних перевірок визначається результатами попередніх. Якщо діагноз складається після виконання всіх елементарних перевірок, передбачених алгоритмом, то останній називається алгоритмом з безумовною зупинкою. Якщо ж аналіз результатів робиться після виконання кожної елементарної перевірки, то алгоритм є алгоритмом з умовною зупинкою.

Діагностичне забезпечення – комплекс взаємопов'язаних правил, методів, алгоритмів і засобів, необхідних для здійснення діагностування на всіх етапах життєвого циклу об'єкта.

Діагностичне забезпечення об'єкта включає правила, методи, алгоритми і засоби технічного діагностування. Для того, щоб об'єкт був пристосований до діагностування, необхідно під час його проєктування розробляти діагностичне забезпечення.

Діагностичне забезпечення проєктованого об'єкта отримують в результаті аналізу його діагностичної моделі. Будується діагностична модель на основі передбачуваної конструкції, умов використання і експлуатації об'єкта. В результаті дослідження діагностичної моделі встановлюють діагностичні ознаки, прямі і непрямі параметри і методи їх оцінювання, визначають умови працездатності, розробляють алгоритми діагностування.

Сучасна діагностика машин та агрегатів виникла на стику таких наук, як інтроскопія, математична логіка, гармонійний аналіз, акустика, радіоізотопна техніка, психологія та ін.

Діагностування – технологічний елемент профілактики і ремонту, основний метод виконання контрольних робіт. Специфічною властивістю, якою діагностика відрізняється від звичайного визначення технічного стану, є, в першу чергу, виявлення несправностей без розбирання. Пристосованість діагностування до ТО і ремонту виражається технологічним призначенням, визначенням технічного стану і ступенем спеціалізації – територіальної відособленості діагностичних робіт.

Завдання технічної діагностики:

- забезпечення надійності промислового устаткування;
- планування показників виробництва Кт.в.;
- імовірнісні моделі надійності і їх недоліки стосовно конкретної одиниці промислового устаткування;
- перелік причин, що викликають розсіювання параметрів надійності;
- необхідність об'єктивної оцінки технічного стану, ресурсу, швидкості втрати працездатності, моменту настання граничного стану.

Системи діагностування складаються з об'єктів контролю і засобів контролю. Перевіркою технічного стану складного об'єкта є процес управління цим об'єктом в процесах відновлення.

Вимоги до методів і засобів діагностики:

- мінімальний час оцінювання технічного стану;
- достатня точність і достовірність свідчень;
- застосування безрозборних методів, без порушення роботи механізмів;
- економічна доцільність;
- можливість використання результатів діагностування (зміст, терміни і об'єми ТЕ і ремонтів);
- технічна реалізація процесів діагностування

Випробування мостового крана



ня (системи-діагности, які за допомогою датчиків вимірюють великі числа параметрів машини, обробляють ці показники і роблять висновок про працездатність машини);

- технологічність діагнозу;
- пристосованість машини для можливості її діагностування.

Діагностичні ознаки.

Контроль вихідних параметрів виробу дає відповідь на питання про працездатність виробу, але не визначає місця і виду пошкодження.

Контроль пошкоджень, які приводять до відмови машини:

- величини зносу, деформацій, ступінь корозії та ін.;
- функціональний зв'язок процесів пошкодження з вихідними параметрами;
- кількість контрольованих процесів і параметрів.



Рис. 1.31. Проведення технічної діагностики вантажопідйомних машин

Граничний і допустимий знос деталей з'єднань

Граничний знос згідно з ГОСТ 23.002-78 – знос, відповідний граничному стану об'єкта, що зношується, або його складової частини.

Допустимий знос – значення зносу, за якого виріб зберігає працездатність. Допустимий знос менший за граничний.

Критерії, за якими встановлюють граничний знос, що визначає граничні розміри деталей, розділяють на три групи: технічні кількісні; якісні непрямі; економічні.

Технічні кількісні критерії дозволяють визначати значення граничного зносу деталей на підставі підвищення інтенсивності спрацювання і виникнення раптових відмов. Граничний знос деталей при цьому визначається з урахуванням їх міцності, характеру і величини діючих навантажень, умов тертя, мастила та ін.

Якісні непрямі критерії дозволяють визначати граничний знос деталей за погіршенням якості роботи складальних одиниць, агрегатів і машин. Наприклад, знос торцевої поверхні зубчастих коліс, коробок передач викликає самовмикання і самовимикання механізмів.

Економічні критерії характеризують зниження продуктивності машини, підвищення витрати палива, мастила тощо.

Робота деталей в машині супроводжується безперервним в часі процесом зношування поверхонь, що труться, який може бути представлено у вигляді умовної кривої зносу (рис.1.32), що має три чітко виражених зони.

Зона I характеризує початкову роботу з'єднання, тобто період $1_{пр}$ приробки зв'язаних деталей. За $1_{пр} = 0$ існує початковий проміжок $S_{нач}$, визначений видом посадки і точністю зборки (монтажу). Зношування поверхонь, що труться, в цей період відбувається інтенсивно, оскільки нові деталі мають поверхні зі значними макро- і мікронерівностями, а отже, і невелику площу зіткнення. В процесі приробки ці нерівності згладжуються, збільшується фактична площа контакту і зменшується швидкість зношування. Тривалість приробки залежить від якості поверхні тертя, режиму роботи зв'язаних деталей і їх мастила. У точці А, що відповідає зносу S_p , закінчується процес прироблення. У зоні II (період t_e) зношування відбувається порівняно повільно і рівномірно, знос називають природним. Знос $1_{др}$, що відповідає точці Б, називають допустимим.

У такому випадку ресурс деталі – не вичерпаний, деталь зберігає працездатність, а величина зносу

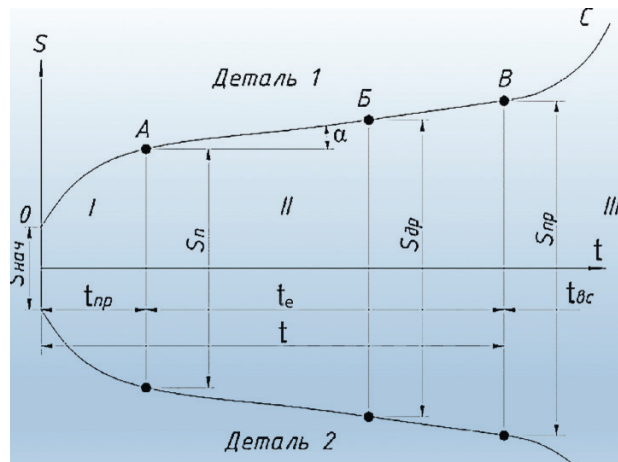


Рис. 1.32. Крива спрацювання спряження машин

набагато менше граничного значення. Зона III характеризує період $1_{вс}$ форсованого зношування, коли з'являються якісні зміни процесу зношування за рахунок накопичених кількісних мікроушкоджень в попередньому періоді. Експлуатація в цей період стає небезпечною і може привести до аварії, тобто повної втрати працездатності машини. Точка В на кривій виражає граничні величини зносу $1_{пр}$, за якого деталі підлягають відновленню або вибраковуванню.

За настання граничного стану деталі або з'єднання їх ресурс (напрацювання) обмежується величиною зносу, рівною відповідно граничному зносу $S_{пр}$ або граничному проміжку $S_{пр}$. Граничними зносом $S_{пр}$ і проміжком $S_{пр}$ є такі їх значення, за яких настає граничний стан деталі або з'єднання і вичерпується їх повний ресурс.

Структура систем діагностування

Для більшості промислового устаткування можна виділити низку ознак і параметрів, на основі яких визначається їх механічний стан. Для цього існують галузеві інструкції щодо вибору параметрів і критеріїв технічного стану.

Діагностичними ознаками можуть бути:

- вміст металевих домішок в мастилi (мастило редукторів);
- рівень шуму і вібрації;
- тиск робочої рідини в гідросистемі;
- величина витоків робочої рідини;
- t нагріву деталей і робочих рідин;
- величина зносу елементів кінематичних пар і робочих органів.

Вибір тієї або іншої діагностичної ознаки залежить від:

- повноти інформації про технічний стан, яку несе ознака;
- можливості його вимірювання;
- трудомісткості діагностування;
- необхідності використання спеціальних приладів.

Перед створенням системи ТД має бути встановлений зв'язок між змінами технічного стану об'єкта



Технології діагностування бувають:

- вбудовані системи діагностування;
- переносні системи ТД

і діагностичними ознаками. При цьому визначаються номінальні і граничні значення ознак. Інструкції з експлуатації мають забезпечуватися контрольно-діагностичними картами.

1.2.2. Класифікація методів проведення технічного діагностування машин, вузлів і механізмів

Контролепридатність металургійного обладнання

Джерело діагностичної інформації – вузли й деталі металургійного обладнання, технічний стан яких безупинно змінюється внаслідок дефектів, що утворюються й розвиваються в них. Якість оцінки технічного стану об'єкта залежить від розуміння фізичної сутності взаємодії деталей і розвитку несправностей.

Основу технічної діагностики складають теорія розпізнавання і теорія контролепридатності.

Теорія розпізнавання розглядає алгоритми розпізнавання, діагностичні і математичні моделі устаткування. Вводячи в моделі різні ситуації (включаючи несправності і відмови), визначають технічний стан машин і механізмів. Математичні моделі, засновані на закономірностях відмов, дозволяють у найкоротший термін аналізувати інформацію, прогнозувати поведінку устаткування й оперативно призначати обґрунтовані ремонтні впливи.

Теорія контролепридатності розглядає засоби й методи одержання діагностичної інформації, засоби контролю й пошуку несправностей.



Контролепридатність – це властивість об'єкта забезпечувати достовірну оцінку його технічного стану. Вона створюється на етапі проєктування устаткування і розробки системи діагностування.

Методи діагностування відмов та дефектів в деталях

Несправності й дефекти механічного устаткування виявляються під час експлуатації у вигляді

вихідних сигналів і можуть бути оцінені різними фізичними величинами; температурою або характеристиками теплового поля, амплітудою коливань, віброшвидкістю або віброприскоренням, ударними імпульсами, рівнем шуму, зміною товщини стінки та ін. Ці величини є діагностичними параметрами, при виборі яких необхідно дотримувати вимоги однозначності, стабільності, диференціації, доступності й зручності виміру, інформативності, технологічності.

Під однозначністю розуміють відповідність кожному значенню діагностичного параметра тільки одного, цілком певного, технічного стану об'єкта, а під диференціацією найбільшу зміну вихідного сигналу за заданих змін дефектів.

Доступність і зручність виміру діагностичного параметра визначається конструктивними особливостями об'єкта й засобів діагностування, а інформативність – зниженням невизначеності знань про технічний стан устаткування після використання інформації діагностування.

Якість діагностування залежить не тільки від вибору параметрів, але й від контролепридатності устаткування, під якою розуміють пристосованість виробів до діагностування й взаємне узгодження характеристик виробу, методів і засобів діагностування. Контролепридатність нових машин й агрегатів повинна забезпечуватися на стадіях розробки й виготовлення, а діючого устаткування – під час експлуатації.

Для забезпечення контролепридатності необхідно вирішити низку завдань, головні з яких:

- розробка схеми розміщення контрольних точок й їхнє конструктивне оформлення;
- визначення кількісних оцінок досягнутого рівня контролепридатності.

Контрольні точки варто вибирати в безпосередній близькості від місць виникнення діагностичних сигналів. Під час взаємодії деталей (наприклад, кулі із площиною або зубчастими колесами) виникають поперечні пружні хвилі, які поширюються через корпусні деталі й втягують у коливальний рух більш віддалені від джерела виникнення імпульсів області деталей. На створення коливального руху середовища затрачається енергія хвиль, тому в міру віддалення від місць виникнення енергія поперечних хвиль зменшується. Виходячи із цих явищ, формуються правила розміщення контрольних точок й їхніх конструктивних особливостей.

Контактні поверхні датчиків, що перетворюють діагностичні імпульси в електричні сигнали, виконують плоскими або сферичними для переносних засобів діагностування й передбачають нарізні з'єднання, якщо використовуються вбудовані прилади.

Контрольна точка повинна перебувати в навантаженій зоні на продовженні лінії тиску або в секторі «емісійного вікна» із центральним кутом 120° , рівномірно розташованим щодо лінії тиску. Наприклад, для підшипників редуктора контрольні точки розташовуються в різних площинах залежно від напрямку зусиль у зубчастих зачепленнях.

Шлях сигналу від місця виникнення до контрольної точки повинен бути за можливості прямим і коротким (не більше 75 ... 100 мм).

На шляху сигналу допускається тільки один матеріальний розрив, наприклад, між зовнішнім кільцем підшипника й корпусом. Якщо є проміжні елементи (склянки, втулки тощо), то в корпусах необхідно виконати прохідні отвори для датчиків або для подовжувальних ніпелів. Дуже важлива з погляду якості діагностування операція з'єднання датчика переносного приладу з вузлами й деталями виробу.

Аналіз діагностичного сигналу

- Вибір ознак, параметри ознак, можливість отримання об'єктивних даних, порівняння витрат і економічний ефект діагностики;
- датчики, характер сигналів, еталон, трудомісткість обробки. Інформаційна ємність сигналу;
- забезпечення достовірності сигналу і прогно-



**Методи вібраційної
діагностики початкових стадій
пошкодження обертових
систем**

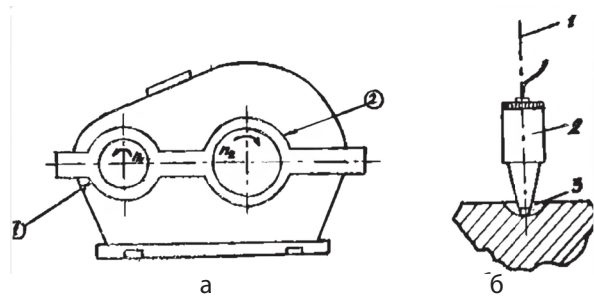


Рис. 1.33. Схеми розміщення й оформлення контрольних точок

зу методом перевірки групи ознак – «синдром відмови».

Особливості використання сигналу типу функціональної залежності:

- закони зміни зусиль або моментів за цикл роботи механізму;



Діагностування складних об'єктів:

- встановити номенклатуру основних діагностичних сигналів;
- розробити алгоритм діагностування;
- вибрати метод діагностування (функціональний або тестовий).

- закони переміщення окремих ланок.

Особливості використання інтегральних сигналів технічного стану: акустичні сигнали; теплові поля; параметри гідросистем та ін.

Підготовчий, основний і завершальний етапи, їх зміст

Технологію діагностики технологічних процесів промислових підприємств слід розпочинати з ідентифікування технологічного процесу (чи декількох процесів), які у межах підприємств промисловості є різноманітними. На завершальному етапі ставиться діагноз і визначається технічний стан машини. За діагнозом визначається зміст і тип ТЕ або ремонту машини, які слід проводити, і в які терміни.

Підготовчі етапи

- 1 етап.** Ідентифікування технологічних процесів та інноваційної складової, яка діагностуватиметься
- 2 етап.** Інформаційне забезпечення діагностики
- 3 етап.** Установлення цілей діагностики
- 4 етап.** Вибір методів та методи діагностики
- 5 етап.** Побудова системи діагностики індикаторів
- 6 етап.** Обґрунтування та стандартизація критеріїв для обраних діагностичних індикаторів

Основні етапи

7 етап. Формування бази даних про фактичні значення діагностичних індикаторів, їхню динаміку і взаємозв'язки

8 етап. оброблення інформаційного масиву даних для виявлення стану інноваційної складової

9 етап. Установлення висновку про стан, проблеми та перспективи розвитку інноваційної складової

Завершальні етапи

10 етап. Формування структурованої інформаційної бази для прийняття управлінських рішень

Рис. 1.34. Технологія діагностики інноваційної складової технологічних процесів промислових підприємств

1.2.3. Методи замірів зносу деталей



Методи і засоби технічного діагностування:

- визначення зазорів і температур;
- визначення змісту металевих частинок в мастилi;
- віброакустичний метод;
- визначення параметрів гідросистем та ін.

Визначення зазорів і температур

- Зазори у з'єднаннях машин вимірюються за допомогою різних вимірювальних пристроїв: щупів, індикаторів, свинцевого дроту, спеціальних пристроїв для безрозбірних з'єднань
- зубчаті з'єднання: сумарний знос зубчатих, шліцьових з'єднань може бути оцінений величиною мертвого ходу редуктора (для цього використовують спеціальні пристосування).
- Температура (t) деталей – важливий критерій оцінювання технічного стану. Зростання температури свідчить про порушення нормального режиму роботи з'єднань, регулювань, мастила. Контроль t виконують термометрами, термопарами, терморезисторами.
- Визначення вмісту металевих частинок в мастилi. Фізико-хімічний склад мастила може бути визначений: колориметричним, полярографічним, магнітноіндукційним, радіоактивним, спектрографічним методами.
- Колориметричний метод дозволяє визначити вміст в мастилi різних елементів шляхом

порівняння забарвлення досліджуваного мастила із забарвленням стандартного.

Полярографічний метод заснований на зміні залежності між силою струму і напругою за допомогою ртутного електроду, поміщеного в досліджуваний розчин.

Магнітноіндукційний метод заснований на зміні магнітної індукції залежно від вмісту металу в пробі мастила, поміщеної в котушку індуктивності, і що викликається зміною протікаючого струму.

Методом спектрографії визначається вміст продуктів зносу в пробі мастила внаслідок розкладання на окремі спектри під дією дуги Вольта.

Віброакустичний метод

Прогресивним методом оцінювання технічного стану устаткування є віброакустичний метод. Суть його полягає в тому, що під час роботи машини рух деталей супроводжується зіткненнями, в результаті чого по корпусу розподіляються пружні коливання, величина і характер яких міняється при зносі і розрегулюванні вузлів машин. Знаючи залежність між параметрами віброакустичного сигналу і зносом окремих кінематичних пар, визначають їх механічний стан.

Вимірювання параметрів гідросистем і витоків масла виконується звичайними манометрами, манометрами електроконтактів (тиск), перетворювачами тиску (p і in); витратометрами струменевими, електромагнітними, ультразвуковими, тахометричними та ін.

Таблиця 1.1

Класифікація діагностичних параметрів

Класифікаційна ознака	Класи	Приклади
1	2	3
Джерело інформації	Робочі процеси	Потужність двигуна, частота обертання
	Супутні процеси	Вібрація, нагрівання, шум
	Геометричні	Натяг паса, зазор підшипника, товщина накладки
Обсяг інформації, що передається	Часткові	Температурні параметри, швидкість переміщення
	Загальні	Сумарний люфт трансмісії, гальмівний шлях, люфт колеса
	Взаємозалежні	Витрата картерних газів, компресія в циліндрах, витрата оливи, колір випускних газів
Зміст інформації, що передається	Про технічний стан органів діагностування (ОД)	Рівень компресії у циліндрах характеризує технічний стан циліндро-поршневої групи
	Про функціональні можливості ОД	Максимальний обертовий момент двигуна характеризує здатність агрегату виробляти кінетичну енергію
	Комбіновані	Тиск оливи в гідросистемі характеризує технічний стан агрегатів гідросистеми і здатність утримувати тиск
За типом величин	Дискретні	Наявність – відсутність підтікання рідини, сигнал про граничний тиск оливи, граничну температуру охолоджувальної рідини
	Неперервні	Величина компресії, сила зарядного струму, напруга, частота обертання, витрата енергії
За фізичним змістом	Вібраційні	Амплітуда, частота, віброприскорення
	Акустичні	Сила звуку, частота
	Напруження, деформації, сили	Зусилля стискання амортизаційних пружин, напруження у важелях, напруження болтів кріплення корпусних деталей
	Стан контактних середовищ	Вміст продуктів зносу в оливі, склад відпрацьованих газів, охолоджувальної рідини
	Зміни параметрів робочого процесу	Частота обертання, тиск, температура, витрата рідини, газу
	Дефектоскопії	Інтенсивність ультразвуку, ультрафіолетове випромінювання, огинання магнітними лініями перешкоди
	Оптичні	Візуальні спостереження з діаметром поля зору 3 – 20 мм

1.2.4. Органолептичні методи оцінювання технічного стану обладнання

Органолептичний (органо- + грецьк. *leptikos* – здатний узяти, сприйняти) метод, заснований на аналізі інформації, що сприймається органами чуття (зору, нюху, дотику, слуху, смаку) без застосування технічних вимірювальних або реєстраційних засобів. Ця інформація не може бути представлена в чисельному виразі, а ґрунтується на відчуттях людини, що генеруються органами. Рішення щодо об'єкта контролю ухвалюється за наслідками аналізу такого сприйняття, тому точність методу залежить від кваліфікації, досвіду і здібностей осіб, які проводять діагностування. Для органолептичного контролю можуть використовуватися технічні засоби, що підвищують роздільні здатності або сприйнятливість органів чуття (лупа, мікроскоп, слуховка та ін.).

Ухвалення рішення має характер «відповідає-не відповідає» і визначається діагностичними правилами типу «якщо – то», що мають конкретну реалізацію для вузлів механізму. Практично відбувається оцінювання стану устаткування за дворівневою шкалою – продовжувати експлуатацію або необхідний ремонт. Об'єм інформації про технічний стан – мінімально необхідний.

Основна мета – виявлення відхилень від працездатного стану механізму. Рішення про технічний стан механізму ухвалює технологічний або ремонтний персонал, який обслуговує устаткування на підставі досвіду і виробничої ситуації. Ухвалюється рішення про зупинку устаткування для візуального огляду і подальшого ремонту або продовження експлуатації.

Основні органолептичні методи, використовувані для оцінювання технічного стану механічного устаткування:

Аналіз шумів механізмів відбувається за двома напрямками:

Акустичне сприйняття, що дозволяє оцінювати найбільш значущі пошкодження, що міняють акустичну картину механізму. Вельми ефективно при розрізненні пошкоджень муфт, визначенні дисбалансу або ослаблення посадки деталей, обриві стрижнів ротора, ударах деталей. Діагностичні ознаки – зміна тональності, ритму і гучності звуку.

Аналіз коливань механізмів. У цьому методі механічні коливання корпусних деталей перетворюються в звукові коливання за допомогою техніч-

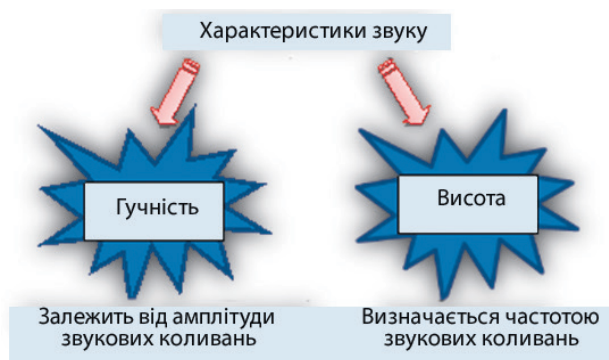


Рис. 1.35. Характеристика звуку

них або електронних стетоскопів. Робляться спроби розширити можливості людського сприйняття, використовуючи електронні засоби.

Контроль температури

Дозволяє оцінити ступінь нагріву корпусних деталей за рівнями «холодно», «тепло», «гаряче». «Холодно» – температура менше +20 °С, «тепло» – температура +30...+40 °С, «гаряче» – температура зверху +50 °С. Можливе розширення діапазонів температур.

Сприйняття вібрації

Засноване на тактильному аналізі, як і контроль температури. Значення параметрів вібрації суб'єктивно оцінити складно. У порівняльному аналізі точність оцінки амплітуди вібрації не перевищує 20%. Абсолютна оцінка практично завжди містить грубі помилки із-за нерозпізаного спектрального складу вібрації. У високочастотному діапазоні можливості людини щодо сприйняття вібрації обмежені. Надійним віброметром людина бути не може.

Візуальний огляд механізму

Надає велику частину інформації про технічний стан. Огляд може проводитися в динамічному режимі (працюючий механізм) і в статичному (зупинений механізм).

Методи дотику

Використовуються для оцінювання в'язкості, пластичності, наявності сторонніх включень в змащувальному матеріалі, шорсткості поверхні пошкоджених деталей.

1.2.5. Загальні положення неруйнівного контролю

Прогнозування залишкового ресурсу можливо за існування закономірності зміни значень параметрів від зміни параметрів технічного стану. На підставі прогнозу робиться висновок про доцільність проведення технічних заходів щодо відновлення працездатності устаткування. Прогнозування дозволяє визначити залишковий ресурс машини.

Прилади неруйнівного контролю – засоби, які використовують за різних методів неруйнівного контролю для визначення властивостей і параметрів та оцінки надійності потрібного об'єкта чи конструкції.



Технічна діагностика характеризується такими загальними поняттями:

1. Комплекс заходів з оцінювання технічного стану машин без їх розбирання (бажано без виводу з експлуатації).
2. Промислова технічна діагностика, що забезпечує підвищення ефективності виконання правил технічної експлуатації.
3. Ефективність технічної діагностики забезпечується за рахунок:
 - точної оцінки технічного стану;
 - виключення випадків передчасної заміни вузлів;
 - збільшення робочого часу використовуваного устаткування;
 - скорочення трудомісткості технічної експлуатації.
4. Вибір діагностичних ознак засобів технічної діагностики
5. Зв'язок між діагностичними ознаками і технічним станом.
6. Технологія діагностування.
7. Методи і засоби технічної діагностики:
 - контроль зазорів, люфтів, зносу;
 - контроль t ;
 - контроль кількості механічних домішок.



Рис. 1.36. Сучасні пирометри

1.2.6. Магнітно-люмінесцентна дефектоскопія



Магнітна дефектоскопія – це окремий випадок магнітного неруйнівного контролю, який передбачає спосіб виявлення дефектів у вигляді порушення цілісності в об'єктах з феромагнітних матеріалів.

Суть методу – реєстрація магнітних полів розсіювання поблизу цих дефектів.

При переміщенні в однорідне магнітне поле об'єкта контролю, що не має дефектів і різкої зміни форми, магнітний потік F_m буде проходити по шляху найменшого опору через матеріал, практично не виходячи за межі об'єкта. Деяка незначна частина магнітного потоку F_0 може проходити по повітрю. Це пов'язано з тим, що магнітний опір матеріалу (металу) набагато менший опору повітря, оскільки цей опір обернено пропорційний магнітній проникності.

За наявності тріщини, перпендикулярної напрямку магнітного потоку, виникає перешкода у вигляді повітряного проміжку, що різко збільшує магнітний опір на цій ділянці. Тому потік F_m буде в основному огинати тріщину знизу. Разом з тим частина потоку буде замикатися в повітрі над тріщиною, тобто виникає потік розсіювання над дефектом ΔF_d .

У матеріалі з дуже великою магнітною проникністю і малим магнітним опором весь магнітний потік піде під тріщиною і потоку ΔF_d практично не буде. Це означає дуже низьку чутливість магнітної дефектоскопії в такому випадку.

Величина F_r залежить не тільки від виду феромагнетика, а й від напруженості намагнічувального поля. Тому правильний вибір оптимальних режимів намагнічування підсилює потік розсіювання над дефектом і підвищує чутливість методу.

Дефекти оптимально виявляються в разі, коли напрямок намагнічування контрольованої деталі перпендикулярний напрямку розвитку дефекту.

Для створення оптимальних умов контролю застосовують три види намагнічування:

- циркулярне;
- поздовжнє (полюсне);
- комбіноване.

Циркулярне намагнічування призначене для де-

талей, що мають форму тіл обертання (при цьому щось обертається: деталь або магнітний потік). Поздовжнє (полюсне) намагнічування здійснюється за допомогою електромагнітів, постійних магнітів або соленоїдів. При цьому деталь намагнічується зазвичай вздовж свого найбільшого розміру. На краях утворюються полюси, що створюють поле зворотного напрямку. Комбіноване намагнічування здійснюється за одночасного намагнічування деталі двома або кількома змінними магнітними полями.

Розрізняють магніт-м'які і магніт-жорсткі матеріали. Магніт-м'які розмагнічуються після зникнення поля (сталі Ст3, Ст10). Магніт-жорсткі залишаються намагніченими після видалення поля (загартована сталь).

Намагнічені деталі з магніто-жорстких матеріалів після проведення контролю мають бути розмагнічені, щоб уникнути налипання на них металевих стружок, які можуть потрапити в підшипники, направляючі, зубчасті передачі та інші вузли і вивести їх з ладу.

Якість розмагнічування можна перевірити за допомогою магнітометра, магнітної стрілки або за допомогою бритвеного леза, підвішеного на нитці.



Рис. 1.37. Магнітометри: а) універсальний, б) протонний



Існує три способи розмагнічування:

- статичний;
- динамічний;
- термічний.

Статичне розмагнічування здійснюється за допомогою зовнішнього магнітного поля, яке приводить намагніченість магнітного матеріалу до такого значення, що при видаленні поля вона стає рівною нулю. Для динамічного розмагнічування деталь поміщають в змінне магнітне поле з амплітудою, що рівномірно зменшується від деякого максимального значення до нуля. При цьому відбувається поступове перемагнічування. У низці випадків може бути використаний більш ефективний спосіб розмагнічування – нагрівання виробів до температури точки Кюрі, за якої магнітні властивості матеріалу зникають. Цей спосіб має дуже обмежене застосування, так як під час нагрівання можуть змінюватися механічні властивості матеріалу.

Магнітні дефектоскопи складаються з наступних основних вузлів: джерела струму, пристрою для підведення струму до деталі і полюсного намагнічування, магнітного перетворювача для індикації магнітного поля, освітлювального пристрою, вимірювача струму або напруженості магнітного поля.

Залежно від призначення в дефектоскопах можуть бути не всі з перерахованих вузлів, але можуть бути і додаткові (наприклад, вузли для автоматичного переміщення деталі і механічної вибравки, дефект-лічильник та ін.).

Для виявлення дефектів найширше застосовування мають магнітні порошки, що забезпечують найвищу чутливість.

У магнітопорошковій дефектоскопії контроль включає наступні основні етапи:

- підготовка поверхні деталей;
- намагнічування деталей;
- обробка сухим порошком або суспензією;
- огляд деталей, оцінка наявних дефектів і, за необхідності, розмагнічування.

Магнітопорошковим методом визначають поверхневі дефекти і дефекти, розташовані на невеликій глибині. Чутливість контролю визначається багатьма факторами: магнітними характеристиками матеріалу, властивостями застосовуваного порошку тощо. Збільшення шорсткості призводить до зниження чутливості, оскільки магнітний порошок осідає на нерівностях поверхні. Поверхню потрібно готувати: очистити від окалини, бруду, масти-

ла. Наклеп поверхні часто приймають за дефект. Контроль зварних швів можливий тільки після їх механічної зашліфовки. Допускається проведення контролю за немагнітним покриттям. Наявність таких покриттів за товщини до 20 мкм практично не впливає на чутливість методу.

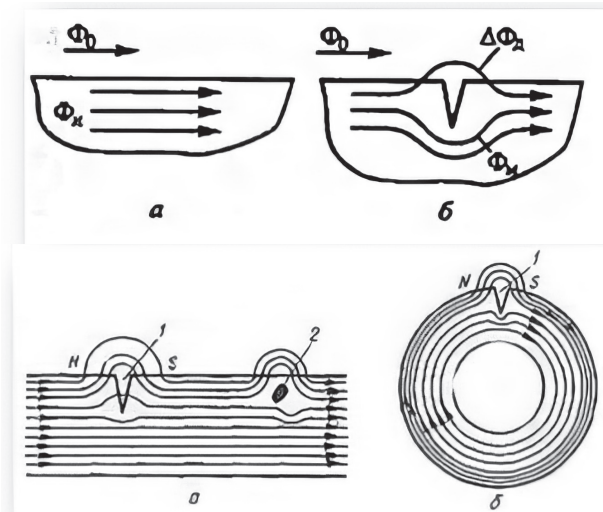


Рис. 1.38. Магнітне поле в ділянці дефекту

Магніто-люмінесцентна дефектоскопія – різновид магнітно-порошкового методу дефектоскопії. Особливість методу полягає в тому, що частинки магнітного порошку містять люмінофор, що світиться під дією на контрольовані вироби ультрафіолетового світла, завдяки чому дефекти виявляються більш чітко. Для зчеплення люмінофора з феромагнітними частками використовуються целюлози або легкоплавкі смоли. Магніто-люмінесцентна дефектоскопія особливо ефективна для контролю виробів з темною поверхнею. Використання магніто-люмінесцентної дефектоскопії у поєднанні з фотоелементами дає змогу автоматизувати процес контролю.

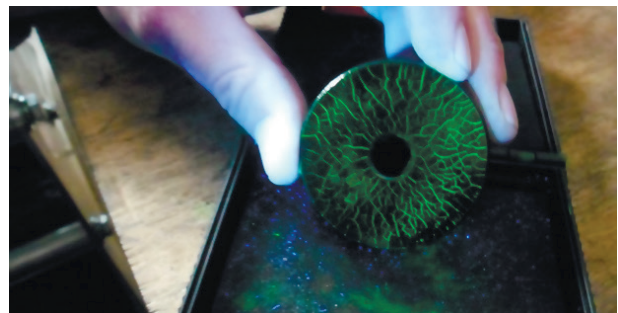


Рис. 1.39. Магніто-люмінесцентна порошкова дефектоскопія. Тестовий елемент в ультрафіолетовому світлі

1.2.7. Ультразвукова дефектоскопія, рентгенотелескопія

За ультразвукової дефектоскопії кільцеві зварні з'єднання контролюють шляхом послідовного прозвучування їх по периметру з'єднання плавним переміщенням шукача-п'єзоперетворювача.

Звукові хвилі не змінюють траєкторії руху в однорідному матеріалі. Відбиття акустичних хвиль відбувається від розділу середовищ з різними питомими акустичними опорами. Що більше розрізняються акустичні опори, то більша частина звукових хвиль відіб'ється і повернеться до приймача при проходженні фронту хвилі через межу розділу.

Так як включення в металі часто містять повітря, що має на кілька порядків більший питомий акустичний опір, ніж сам метал, то за включення хвилі практично не проходять.

Розширення акустичного дослідження визначається довжиною використовуваної звукової хвилі. Це обмеження спричиненне тим фактом, що якщо розмір перешкоди менше чверті довжини хвилі, хвиля від нього практично не виявляється. Це визначає використання височастотних коливань – ультразвуку.

Випромінювання ультразвуку проводиться за допомогою резонатора, який перетворює електричні коливання в акустичні за допомогою зворотного п'єзоелектричного ефекту і вводить їх в досліджуваний матеріал. Відображені сигнали, потрапивши на п'єзопластины, через прямий п'єзоелектричний ефект перетворюються в електричні, які й реєструються вимірювальними схемами.



П'ять методів проведення дослідження

1. Луна-метод (луна-імпульсний метод) – найпоширеніший: резонатор генерує коливання (генератор) і він же приймає відбиті від дефектів сигнали (приймач).

2. Тіньовий – використовуються два резонатори, які знаходяться по дві сторони від досліджуваної деталі на одній лінії. У цьому випадку один з резонаторів генерує коливання (генератор), а другий приймає їх (приймач). Ознакою наявності дефекту буде значне зменшення амплітуди прийнятого сигналу або його зникнення (дефект створює акустичну тінь).

3. Дзеркально-тіньовий – використовується для контролю деталей з паралельними двома сторонами: резонатор генерує коливання і приймає їх відбиття від протилежної грані деталі. Ознакою дефекту, як і за тіньового методу, буде зникнення відбитих коливань. Основна перевага цього методу, на відміну від тіньового, полягає в доступі до деталі з одного боку.

4. Дзеркальний – використовуються два перетворювачі з одного боку деталі: згенеровані коливання відбиваються від дефекту в бік приймача. На практиці використовується тільки для специфічних дефектів (це пов'язано зі складністю прогнозування відбиття сигналів від дефектів) і тільки разом з іншими методами.

5. Дельта-метод – різновид дзеркального методу – відрізняється механізмом відбиття хвилі від дефекту і способом прийняття. На практиці не використовується.



Рис. 1.40. Ультразвуковий контроль виробів

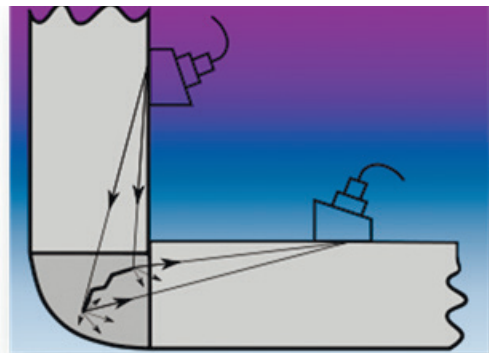


Рис. 1.41. Тріщина в кутовому зварному шві, що виявляється дифракційно-темпоральним методом контролю

З моменту відкриття рентгенівського випромінювання для рентгеноскопії застосовувався флуоресцентний екран, переважно лист картону з нанесеною на нього спеціальною флуоресцентною речовиною. У сучасних умовах застосування такого екрану не обґрунтоване у зв'язку з його малою світловіддачею, що змушує проводити дослідження в добре затемненому приміщенні і після тривалої адаптації дослідника до темряви (10 – 15 хвилин) для розрізнення малоінтенсивного зображення. Замість класичної рентгеноскопії застосовується рентген-телевізійне просвічування, за якого рентгенівські промені потрапляють на підсилювач рентгенівського зображення. До складу останнього входить електронно-оптичний перетворювач. Отримане зображення виводиться на екран монітора. Виведення зображення на екран монітора не вимагає світлової адаптації дослідника, а також затемненого приміщення. На додаток можлива додаткова обробка зображення і його реєстрація на відеоплівці або пам'яті апарату.

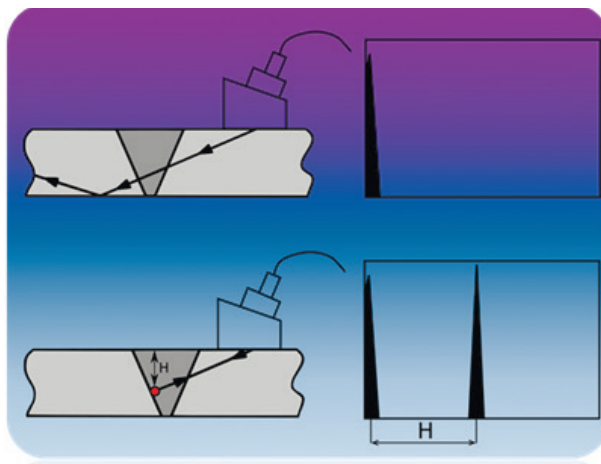


Рис. 1.42. Луна-імпульсний метод контролю зварного з'єднання без дефекту (зверху) і з дефектом (знизу).

У правій частині зображення представлений екран дефектоскопа із зображенням на ньому зондуючим імпульсом (зверху) і імпульсом від дефекту (знизу)



Питання для самоконтролю

1. Що таке технічне діагностування?
2. Вибір ознак для оцінювання технічного стану, їх класифікація.
3. Технічна реалізація процесів діагностування.
4. Використання результатів діагностування.
5. Луна-імпульсний метод контролю тріщин деталей.
6. Виявлення дефектів ультразвуковою дефектоскопією.
7. Які прилади неруйнівного контролю застосовують у технічній діагностиці?

РОЗДІЛ 1.3. ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ, МЕТОДИ І СПОСОБИ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

1.3.1. Шляхи поліпшення умов роботи машин і деталей. Підвищення зносостійкості деталей обладнання

1.3.2. Види термічного зміцнення під час виготовлення деталей

1.3.3. Заходи боротьби зі зношенням деталей обладнання

1.3.4. Хіміко-термічна обробка деталей

1.3.5. Поверхнево-пластична деформація та інші методи

1.3.6. Методи відновлення спрацьованих деталей

1.3.7. Відновлення деталей наплавленням

1.3.8. Поновлення зношених деталей металізацією та електролітичним способом

1.3.1. Шляхи поліпшення умов роботи машин і деталей. Підвищення зносостійкості деталей обладнання



Експлуатація механічного обладнання – це сукупність трьох взаємопов'язаних та взаємозумовлених процесів: технологічного, зношування, відновлення.

Швидкість зношування машин та механізмів залежить від характеру технологічних впливів, дотримання правил експлуатації, від якості виконання проєктно-конструкторських робіт, виготовлення, монтажу машини, дотримання та виконання у повному обсязі робіт із технічного обслуговування та ремонту. Якість процесів підтримування у робочому стані та відновлення визначається рівнем знань та розуміння законів відмов деталей, інженерного забезпечення та організації ремонтного виробництва, кваліфікації ремонтного персоналу. Усі ці питання, що стосуються компетенції інженера-механіка, викладені в цій роботі.

Зрозуміло, що головне призначення машини – це переробка сировини на готовий продукт.

Виходячи з цього, викладення матеріалу почато з питань експлуатації та технічного обслуговування як складової частини експлуатації. У процесі експлуатації машини неминуче мають місце відмови. Ці випадкові відмови у сукупності характеризують надійність машини. Аналіз випадкових відмов дає змогу визначити менш надійні деталі, деталі та вузли, що швидше за інших зношуються. В машині різні деталі витримують різні навантаження, мають різні запаси міцності, характер прикладення змінних на-

вантажень може призводити до передчасного руйнування. Аналіз характеру зламу деталі дає можливість встановити причину. Результати аналізу дають напрям пошуку шляхів відновлення, вдосконалення машини.

До основних напрямів підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя машин відносять: оптимізацію конструктивних рішень вузлів тертя в процесі розробки і проєктування машин, тобто, так званий, конструктивний фактор (напрямок); технологічні методи; експлуатаційні заходи.

Оптимізація конструктивних вирішень вузлів тертя. Конструкція виробу визначає структуру виробництва і його технологію, трудомісткість і матеріаломісткість виробу, тобто економічність виробу у виробництві і експлуатації перш за все залежить від конструкції. Тому конструктор разом із технологом в процесі розробки і проєктування машини (виробу) в першу чергу повинен займатися відпрацюванням конструкції машини на технологічність.



Технологічність конструкції виробу – це сукупність конструктивних і технологічних вирішень, які забезпечують використання прогресивної технології і організації виробництва з найменшими затратами часу і матеріалів, які за заданих масштабів виробництва забезпечують найменшу собівартість і високу якість виробу за умови використання машиною всіх її функцій.

Мабуть першим серед конструкторів, хто серйозно звернув увагу на зв'язок зносостійкості з конструкцією вузлів тертя, був П.І.Орлов. В його праці «Смазка легких двигателів» (1937 р.), що стала бібліографічною рідкістю, міститься цінний матеріал для конструкторів з питань конструктивних форм підшипників, конструювання високозносостійких опор ковзання, теорії тертя кочення. Вона по сьогоднішній день не втратила цінності як в частині яскравих конструкторських прийомів, що забезпечують шляхом раціонального використання мастила у вузлах машин високу надійність деталей, що труться, так і в твердженні, що в питаннях конструювання і особливо в техніці змащування «дрібниць», наприклад, витікання мастила з ущільнювачів, підвищених витрат при викиді мастила з суфлерів тощо не повинно бути, так як це затримує створення нових машин і ускладнює роботу обслуговуючого персоналу під час експлуатації діючих. В наступних його трьох книжках по конструюванню машин приділяється багато уваги також резервам надійності і довговічності під час конструювання машин, підкреслюється провідна роль конструктора у вирішенні питань зносостійкості і довговічності машин.

В роботах М. М.Тененбаума, починаючи з 1966 р., проводиться систематизація конструктивних способів забезпечення високої зносостійкості машин. Всі відомі способи розділені на наступні групи: виключення зовнішнього тертя; покращення умов тертя; рівності деталей, що зношуються; оптимізація форм деталей; індикатори зношування. М. М.Тененбаум у своїх роботах підкреслює, що розв'язок прикладних задач повинен базуватись на закономірностях динаміки зношення деталей і впливу конструктивних параметрів на їх зносостійкість.

Як зазначав в своїх працях Б. І. Костецький, основним принципом, який має бути в основі проєктуван-



До конструктивних способів усунення пошкоджень і підвищення зносостійкості деталей машин Б. І. Костецький відніс наступні:

- вибір виду тертя в опорах;
- визначення форми і розмірів робочих поверхонь;
- розробка засобів регулювання температури;
- раціональне поєднання матеріалів складових елементів вузла тертя;
- вибір системи змащування;
- наявність агрегатів і устаткування для очищення повітря і змащувального матеріалу, а також ущільнень;
- забезпечення технологічності ремонту і заміни зношених деталей і вузлів;
- розробка заходів щодо захисту вузлів тертя від потрапляння абразиву та інших забруднень;
- правильний вибір матеріалу і методу зміцнення для пар тертя.

ня і розрахунку форми і розмірів деталей пар тертя, є забезпечення в гарантованому діапазоні швидкостей ковзання і навантажень режиму нормального (окисного) зношування. Для цього необхідно керуватися відомими закономірностями того або іншого виду зношення залежно від швидкості ковзання і нормального тиску для вибраних матеріалів і середовищ, а також даних про вплив розмірів пар тертя (масштабного фактора) на вид зношування і його інтенсивність.

Шляхи вирішення цих задач схематично показані на рис. 1.43.

Другою принциповою задачею боротьби із зношуванням і налагоджуванням є зменшення інтенсивності окисного зношування.

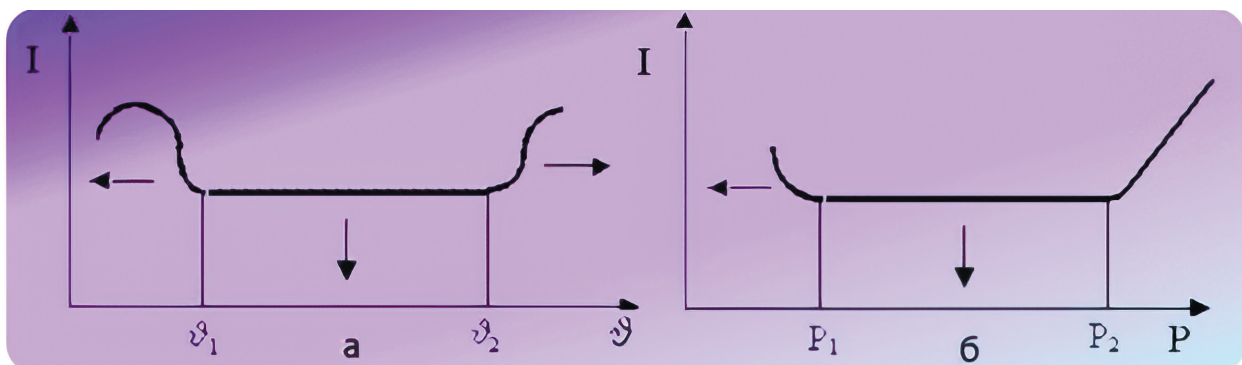


Рис. 1.43. Схема розширення діапазону і мінімізація окисного зношування:
а – за швидкістю ковзання; б – за нормальним тиском

Ці дві принципові задачі доповнюють одна одну і їх спільне вирішення забезпечує збільшення строків служби і надійність роботи машин. Очевидно, що при цьому має бути використаний весь комплекс конструктивних, технологічних і експлуатаційних заходів.

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей. У виробництві і техніці відомі і використовуються багаточисельні технологічні способи для підвищення зносостійкості деталей.

Основні технологічні заходи, що підвищують зносостійкість і довговічність машин, можна розділити на наступні групи:

1. Застосування сучасних методів для створення матеріалів необхідної міцності за різних умов експлуатації машин і отримання з них заготовок високої якості, близьких за формою і розмірами до готових деталей;

2. Застосування сучасних технологічних прийомів, що забезпечують виготовлення деталей заданої точності і стабільності, як за розмірами, так і за фізико-механічними властивостями;

3. Застосування сучасних методів контролю якості матеріалів, заготовок і готових виробів за відповідними показниками надійності;

4. Застосування процесів зміцнювальної обробки (технології) для отримання необхідної якості робочих поверхонь деталей машин з високим опором зношенню і поломкам в різних умовах експлуатації.

Методи зміцнювальних технологій для підвищення зносостійкості деталей машин накопичували впродовж багатьох десятиріч розвитку машинобу-

дування. Серед найбільш розповсюджених необхідно назвати наступні:

- хіміко-термічна обробка: цементация, азотування, хромування, ціанування, силіціювання, алітування, сульфоціанування і сульфідкування та ін.;
- термічна обробка: поверхневе гартування полум'ям, високочастотне гартування, поверхневе гартування з нагрівом в електроліті, лазерне зміцнення;
- хімічна обробка: глибоке анодування, оксидування, фосфатування;
- поверхневе пластичне деформування: обкатка кульками і твердосплавними роликами, шротоструменева обробка, алмазне виглажування, зміцнення чеканкою, гідрополірування, обробка поверхні вибуховим навантаженням;
- гальванічні покриття: хромування, нікелювання, залізнення, борування, радіювання, посрібнення, луження, свинцювання і покриття сплавами;
- хімічні покриття: нікелювання, хромування, покриття кобальтом і сплавами нікель-кобальт;
- способи надання поверхні антифрикційних властивостей: графітування, накатування (заглиблення канавки), нанесення покриттів у вакуумі, нанесення дисульфиду молібдену, фрикційне латунювання і бронзування – ФАБО (фінішна антифрикційна безабразивна обробка), покриття пластмасами (вихровий і газополумєневий методи), металізація напиленням;
- наплавлення: електродугове, електрошлакове, вібродугове;
- електроіскрове зміцнення тощо.



Рис. 1.44. Види хіміко-термічної обробки

Експлуатаційні заходи підвищення зносостійкості і довговічності машин. Конструктивна досконалість і висока якість виготовлення машин ще не гарантують їх тривалу і безаварійну роботу. Додатковими умовами такої роботи є грамотна технічна експлуатація і доцільна система технічного обслуговування і ремонтів.

Задачами технічної експлуатації є: забезпечення справного технічного стану машин під час їх експлуатації і консервації; забезпечення безаварійної роботи машин за належної їй економічності. Рівень технологічної експлуатації машин, в загальному, визначається встановленням її відповідно до при-

значення; кваліфікацією обслуговуючого персоналу, організацією догляду за машинами і технічного нагляду за ними.

В останні роки поряд з технологічними методами, які забезпечують високу якість поверхні і задані властивості поверхневих шарів, одержали розвиток методи підвищення якості поверхонь безпосередньо в процесі експлуатації машин. Особливо ефективним напрямом є організація вторинних захисних структур на поверхні тертя внаслідок застосування спеціальних присадок до змащувальних матеріалів і механізмів взаємодії їх з металом поверхневих шарів в процесі деформації при терті.

1.3.2. Види термічного зміцнення під час виготовлення деталей



Термічною (тепловою) обробкою називаються процеси, сутність яких полягає в нагріві і охолодженні виробів за певними режимами, в результаті чого відбуваються зміни структури, фазового складу, механічних і фізичних властивостей матеріалу без зміни хімічного складу.

Призначення термічної обробки металів – отримання необхідної твердості, поліпшення характеристик міцності металів і сплавів. Термічна обробка ділиться на термічну, термомеханічну і хіміко-термічну. Термічна обробка – тільки термічний вплив, термомеханічна – поєднання термічного впливу і пластичної деформації, хіміко-термічна – поєднання термічного і хімічного впливу. Термічна обробка, залежно від структурного стану, одержуваного в результаті її застосування, ділиться на відпал (першого і другого роду), загартування і відпуск.

Відпал – полягає у нагріванні металу до певних температур, витримці і подальшому дуже повільному охолодженні разом з піччю. Застосовують для поліпшення обробки металів різанням, зниження твердості, отримання зернистої структури, а також для зняття напруг, усуває частково (або повністю) всякого роду неоднорідності, які були внесені в метал під час попередніх операцій (механічна обробка, обробка тиском, лиття, зварювання), покращує структуру сталі.

Термічна обробка

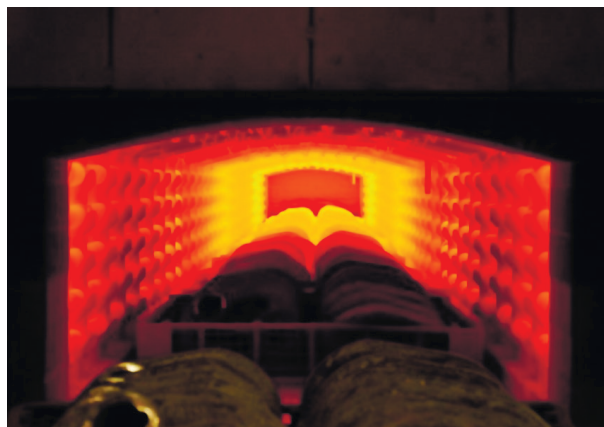


Рис. 1.45. Відпал

Відпал першого роду.

Це відпал, за якого не відбувається фазових перетворень, а якщо вони мають місце, то не впливають на кінцеві результати, передбачені його цільовим призначенням. Розрізняють такі різновиди відпалу першого роду: гомогенізаційний і рекристалізаційний.



Гомогенізаційний – це відпал з тривалою витримкою за температури вище 950°C (зазвичай 1100 – 1200°C) для вирівнювання хімічного складу.

Рекристалізаційний – це відпал наклепаної сталі за температури, що перевищує температуру початку рекристалізації, для усунення наклепів отримання певної величини зерна.

Відпал другого роду.

Це відпал, за якого фазові перетворення визначають його цільове призначення. Розрізняють такі види: повний, неповний, дифузійний, ізотермічний, світлий, нормалізований (нормалізація), сфероїдизувальний (на зернистий перліт).

Повний відпал проводять шляхом нагрівання сталі на 30 – 50°C вище критичної точки, витримкою за цієї температури і повільним охолодженням до 400 – 500°C зі швидкістю 200°C за годину вуглецевих сталей, 100°C за годину – низьколегованих сталей і 50°C за годину – високолегованих сталей. Структура сталі після відпалу рівноважна, стійка.

Неповний відпал проводять шляхом нагрівання сталі до однієї з температур, що знаходяться в інтервалі перетворень, витримкою і повільним охолодженням. Неповний відпал застосовують для зниження внутрішніх напружень, зниження твердості і поліпшення оброблюваності різанням.

Дифузійний відпал. Метал нагрівають до температур 1100 – 1200°C, тому що при цьому краще протікають дифузійні процеси, необхідні для вирівнювання хімічного складу.

Ізотермічний відпал полягає в наступному: сталь нагрівають, а потім швидко охолоджують (частіше перенесенням в іншу піч) до температури, що знаходиться нижче критичної на 50 – 100°C. Переважно застосовується для легованих сталей. Економічно вигідний, так як тривалість звичайного відпалу становить 13 – 15 год, а ізотермічного відпалу – 4 – 6 год.

Сфероїдизувальний відпал (на зернистий перліт) полягає в нагріві сталі вище критичної температури на 20 – 30°C, витримці за цієї температури і повільному охолодженні.

Світлий відпал здійснюється за режимами повного або неповного відпалу із застосуванням захисних атмосфер в печах з частковим вакуумом. Застосовується для захисту поверхні металу від окислення і знеуглецювання.

Нормалізація – полягає у нагріванні металу до температури на 30 – 50°C вище критичної точки і подальшого охолодження на повітрі. Призначення нормалізації різне залежно від складу сталі. Замість відпалу низьковуглецеві сталі піддають нормалізації. Для середньовуглецевих сталей нормалізацію застосовують замість гартування і високого відпуску. Високівуглецеві сталі піддають нормалізації для усунення цементної сітки. Нормалізацію з подальшим високим відпуском застосовують замість відпалу для виправлення структури легованих сталей. Нормалізація в порівнянні з відпалом – економічніша операція, так як не вимагає охолодження разом з піччю.

Загартування – це нагрівання до оптимальної температури, витримка і подальше швидке охолодження з метою отримання нерівноважної структури.

У результаті гартування підвищується міцність та твердість і знижується пластичність сталі. Основні параметри загартування – температура нагріву і швидкість охолодження. Критичною швидкістю гартування називається швидкість охолодження, що забезпечує отримання структури – мартенсит або мартенсит і залишковий аустеніт.

Залежно від форми деталі, марки сталі і необхідного комплексу властивостей застосовують різні способи гартування.

Загартування в одному охолоджувачі. Деталь нагрівають до температури гартування і охолоджують в одному охолоджувачі (вода, масло).

Загартування в двох середовищах (переривчасте гартування) – деталь охолоджують послідовно в двох середовищах: перше – охолоджувальна рідина (вода), друге – повітря або олива.

Ступеневе гартування. Нагріту до температури загартування деталь охолоджують у розплавлених солях, після витримки протягом часу, необхідного для вирівнювання температури по всьому перетину, деталь охолоджують на повітрі, що сприяє зниженню гартівних напруг.

Ізотермічне гартування так само, як і ступінчасте, проводять у двох охолоджувальних середовищах. Температура гарячого середовища (соляні, селітрові або лужні ванни) різна: вона залежить від хімічного складу сталі, але завжди на 20–100°C вище точки мартенситного перетворення для кожної сталі. Остаточне охолодження до кімнатної температури проводиться на повітрі. Ізотермічне гартування широко застосовується для деталей з високолегованих сталей. Після ізотермічного загартування сталь набуває високих міцнісних вла-

стивостей, тобто поєднання високої в'язкості з міцністю.

Гартування з самовідпуском має широке застосування в інструментальному виробництві. Процес полягає в тому, що деталі витримуються в охолоджувальному середовищі не до повного охолодження, а до певного моменту для збереження в серцевині деталі деякої кількості тепла, за рахунок якого здійснюється подальший відпуск.

Відпуск сталі є завершальною операцією термічної обробки, що формує структуру, а отже, і властивості сталі. Відпуск полягає в нагріві сталі до різних температур (залежно від виду відпуску, але завжди нижче критичної точки), витримці за цієї температури і охолодженні з різними швидкостями. Призначення відпуску – зняти внутрішні напруження, що виникають в процесі загартовування, і отримати необхідну структуру.

Залежно від температури нагріву загартованої деталі розрізняють три види відпуску: високий, середній і низький.

Високий відпуск проводиться за температур нагрівання вище 350 – 600°С, але нижче критичної точки; такий відпуск застосовують для конструкційних сталей.

Середній відпуск проводиться за температур нагріву 350 – 500°С; такий відпуск широко застосовується для пружинної і ресорної сталей.

Низький відпуск проводиться за температур 150 – 250°С. Твердість деталі після гартування майже не змінюється; низький відпуск застосовується для вуглецевих і леггованих інструментальних сталей, для яких необхідні висока твердість і зносостійкість.

Контроль відпуску здійснюється за кольорами мінілості, що з'являються на поверхні деталі.

Термічне старіння протікає в результаті зміни



Старіння – це процес зміни властивостей сплавів без помітної зміни мікроструктури. Відомі два види старіння: термічне і деформаційне.

розчинності вуглецю в залізі залежно від температури. Якщо зміна твердості, пластичності і міцності протікає за кімнатної температури, то таке старіння називається природним. Якщо ж процес протікає за підвищеної температури, то старіння називається штучним.

Деформаційне (механічне) старіння протікає після холодної пластичної деформації.

Обробка холодом новий вид термічної обробки, для підвищення твердості сталі шляхом переведення залишкового аустеніту загартованої сталі в мартенсит. Це виконується при охолодженні сталі до температури нижньої мартенситної точки.

Методи поверхневого зміцнення. Поверхневим загартовуванням називають процес термічної обробки, що є нагрівом поверхневого шару сталі до температури вище критичної і наступним охолодженням з метою отримання в поверхневому шарі структури мартенситу.

Розрізняють такі види: індукційне гартування; гартування в електроліті, гартування внаслідок нагрівання струмами високої частоти (ТВЧ), загартовування з газополуменевим нагріванням.

Індукційне гартування на фізичному явищі, сутність якого полягає в тому, що електричний струм високої частоти, проходячи по провіднику, створює навколо нього електромагнітне поле. На поверхні деталі, що знаходяться в цьому полі, індукуються вихрові струми, викликаючи нагрівання металу до високих температур. Це забезпечує можливість протікання фазових перетворень.

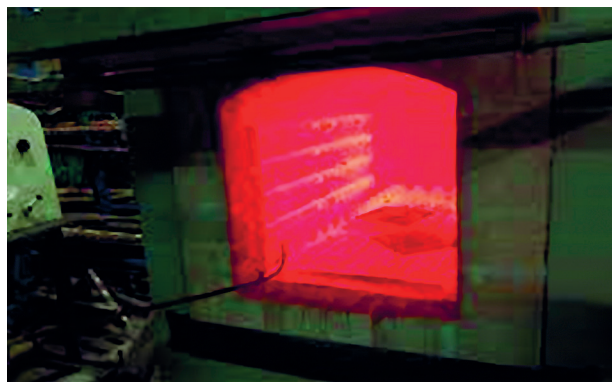


Рис. 1.46. Методична піч для гартування

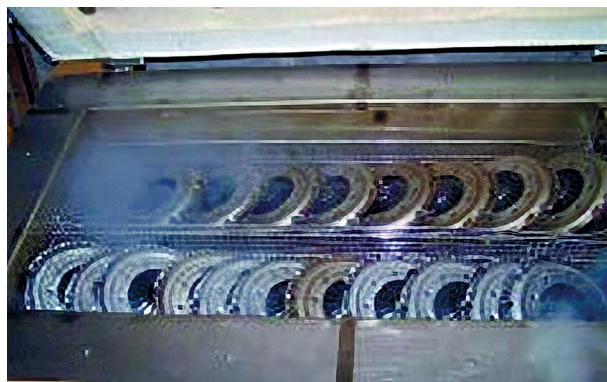


Рис. 1.47. Обробка холодом



Залежно від способу нагріву індукційне гартування підрозділяється на три види:

- одночасний нагрів і гартування всієї поверхні (використовується для дрібних деталей);
- послідовний нагрів і гартування окремих ділянок (використовується для колінчастих валів і подібних до них деталей);
- безперервно-послідовний нагрів і гартування переміщенням (використовується для довгих деталей).

Газополум'яне загартування. Процес газополум'яного гартування полягає у швидкому нагріванні поверхні деталі ацетилено-кисневим, газокисневим або киснево-газовим полум'ям до температури загартування з наступним охолодженням водою або емульсією.

Загартування в електроліті. Процес загартування в електроліті полягає в наступному: у ванну з електролітом (5 – 10% розчин кальцінованої солі) занурюють деталь і пропускають струм напругою 220 – 250 В, результаті чого відбувається нагрівання

деталі до високих температур. Охолодження деталі проводять або в тому ж електроліті (після виключення струму), або в спеціальному гартівному баку.

Термомеханічна обробка (ТМО) – новий метод зміцнення металів і сплавів зі збереженням достатньої пластичності, що поєднує пластичну деформацію і зміцнювальну термічну обробку (гартування і відпуск). Розрізняють три основні способи термомеханічної обробки.

Низькотемпературна термомеханічна обробка (НТМО) ґрунтується на ступінчастому загартуванні, тобто пластична деформація сталі здійснюється за температур відносної стійкості аустеніту з наступним загартуванням і відпуском.

Високотемпературна термомеханічна обробка (ВТМО) – пластичну деформацію проводять за температур стійкості аустеніту з наступним загартуванням і відпуском.

Попередня термомеханічна обробка (ПТМО) – деформація при цьому може здійснюватися за температур НТМО і ВТМО або за температури 20° С. Далі здійснюється звичайна термічна обробка: загартування і відпуск.

1.3.3. Заходи боротьби зі зношенням деталей обладнання

Вартість відновлення зношених деталей значно нижче вартості їхнього виготовлення. Витрати на відновлення деталей становлять 20 – 60% вартості нових деталей. Відновлення деталей зменшує потребу ремонтних підприємств у виробництві нових запасних деталей.

Зношені деталі машин можуть бути відновлені:

- ручним електродуговим наплавленням;
- автоматичним або простим наплавленням під флюсом і в середовищі інертних газів;
- автоматичним вібродуговим наплавленням;

- газополум'яним наплавленням;
- електрошлаковим, електроконтактним і плазмовим наплавленням;
- металізацією;
- обробкою деталей під ремонтний розмір;
- додатковими деталями;
- електролітичним нанесенням металу;
- електромеханічним способом;
- пластичними деформаціями;
- за допомогою клеїв, паст і полімерних матеріалів.

1.3.4. Хіміко-термічна обробка деталей



Хіміко-термічною обробкою називають процес поєднання термічного і хімічного впливу з метою зміни складу, структури і властивостей поверхневого шару сталі.

Мета хіміко-термічної обробки: підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, межі витривалості, корозійної стійкості, жаростійкості (окислостійкості), кислотостійкості.

Найбільше застосування в промисловості одержали наступні види хіміко-термічної обробки: **цементация; нітроцементация; азотування; ціанування; дифузійна металізація.**

Цементация – це процес поверхневого насичення вуглецем з метою поверхневого зміцнення деталей.

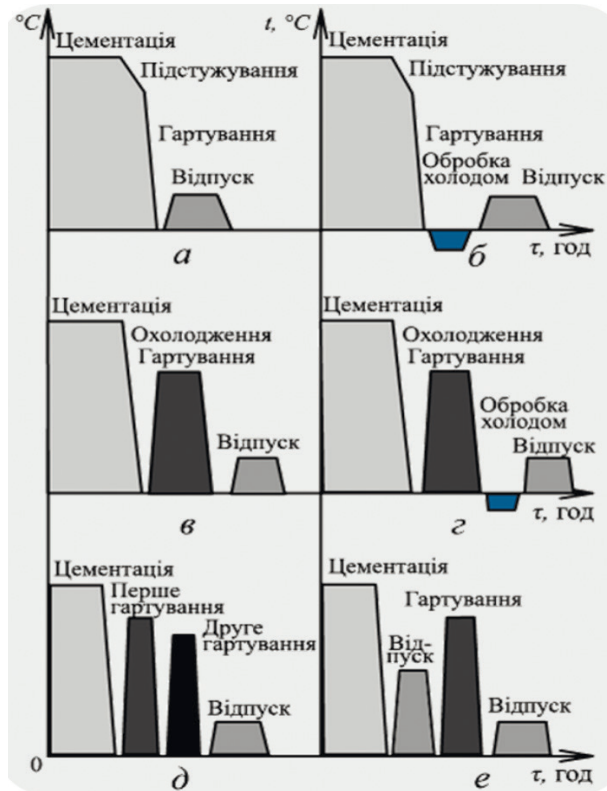


Рис. 1.48. Найпоширеніші режими термічної обробки сталевих деталей після цементації

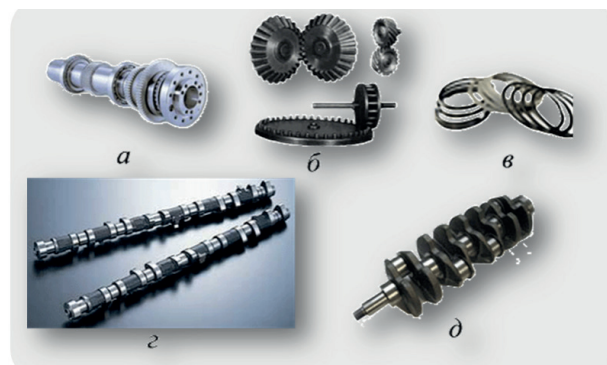


Рис. 1.49. Деталі, що пройшли цементацію: а – шпиндель верстата; б – шестерні; в – поршневі кільця; г – розподільні вали; д – колінчастий вал



Газова цементация – деталі нагрівають до 900 – 950°C у спеціальних герметично закритих печах, в які безперервним потоком подають цемент і вуглецевистий газ (природний або штучний).

Залежно від застосовуваного карбюризатора цементацию ділять на два види: цементация твердим карбюризатором; газова цементация (метан, пропан, природний газ).

Процес цементации у твердому карбюризаторі полягає в наступному. Деталі, упаковані в ящик разом з карбюризатором (суміш деревного вугілля з активізатором), нагрівають до певної температури і протягом тривалого часу витримують за цієї температури, потім охолоджують і піддають термічній обробці.

Цементации будь-яким з розглянутих вище способів піддають деталі з вуглецевої і легованої сталі з вмістом вуглецю не більше 0,2%. Цементация легованих сталей, що містять карбидоутворювальні елементи Cr, W, V, дає найкращі результати: у них, окрім підвищення поверхневої твердості і зносостійкості, збільшується також межа втоми.

Азотування – це процес насичення поверхневого шару різних металів і сплавів, сталевих виробів або деталей азотом під час нагрівання у відповідному середовищі. Підвищується твердість поверхні виробу, витривалість, зносостійкість, корозійна стійкість.

Ціанування – насичення поверхневого шару виробів одночасно вуглецем і азотом.

Залежно від використовуваного середовища розрізняють ціанування: у твердих середовищах; в рідких середовищах; у газових середовищах.

Залежно від температури нагріву ціанування буває низькотемпературне і високотемпературне.

Ціанування в рідких середовищах проводять у ваннах з розплавленими солями.

Ціанування в газових середовищах (нітроцементация) – процес одночасного насичення поверхні деталей вуглецем і азотом. Для цього деталі нагрівають у середовищі, що складається з цементу, газу та аміаку, тобто нітроцементация поєднує в собі процеси газової цементации і азотування.

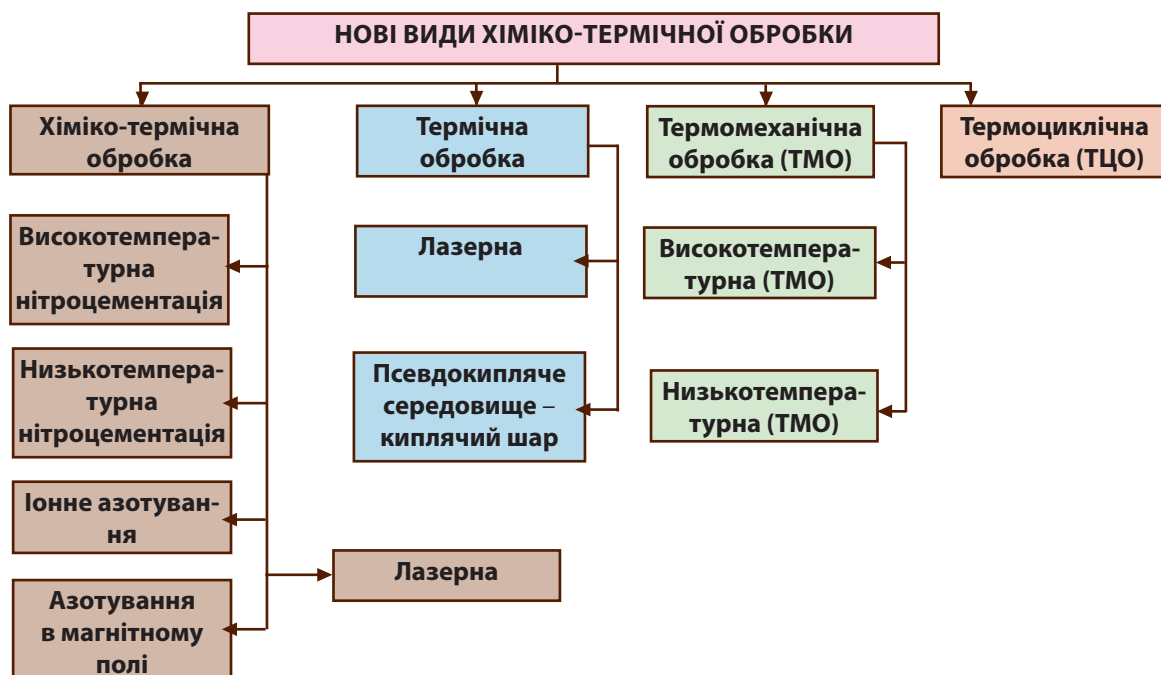


Рис. 1.50. Класифікація нових видів хіміко-термічної обробки



Рис. 1.51. Устаткування для хіміко-термічної обробки

Дифузійне насичення металами і металоїдами

Існують і застосовуються в промисловості способи насичення поверхні деталей різними металами (алюмінієм, хромом тощо) і металоїдами (кремнієм, бором та ін.) Призначення такого насичення – підвищення окислостійкості, корозійної стійкості, кислотостійкості, твердості і зносостійкості деталей. У результаті поверхневий шар набуває особливих властивостей, що дозволяє економити легуючі елементи.

Алітування – процес насичення поверхневого шару сталі алюмінієм для підвищення жаростійкості (окалиностійкості) і опору атмосферній корозії.

Алітування проводять в порошкоподібних сумішах, у ваннах з розплавленим алюмінієм, в газовому середовищі і розпилюванням рідкого алюмінію.

Хромування – процес насичення поверхневого шару сталі хромом для підвищення корозійної стійкості та жаростійкості, а при хромуванні високовуглецевих сталей – для підвищення твердості і зносостійкості.

Сіліціювання – процес насичення поверхневого шару деталі кремнієм для підвищення корозійної стійкості та кислотостійкості. Сіліціюванню піддають деталі з низько- і середньовуглецевих сталей, а також з ковкого і високоміцного чавунів.

Борування – процес насичення поверхневого шару деталі бором. Призначення борування – підвищити твердість, опір абразивному зносу і корозії в агресивних середовищах, теплостійкість і жаростійкість сталевих деталей. Існує два методи борування: рідинне електролізне і газове борування.

Сульфідкування – процес насичення поверхневого шару сталевих деталей сіркою для поліпшення протизадирних властивостей та підвищення зносостійкості деталей.

Сульфоціонування – процес поверхневого насичення сталевих деталей сіркою, вуглецем і азотом. Спільний вплив сірки і азоту в поверхневому шарі металу забезпечує кращі протизадирні властивості і зносостійкість у порівнянні з насиченням тільки сіркою.

Алітування – процес насичення поверхневого шару сталі алюмінієм для підвищення жаростійкості (окалиностійкості) і опору атмосферній корозії.

Алітування проводять в порошкоподібних сумішах, у ваннах з розплавленим алюмінієм, в газовому середовищі і розпилюванням рідкого алюмінію.

Хромування – процес насичення поверхневого шару сталі хромом для підвищення корозійної стійкості та жаростійкості, а при хромуванні високовуглецевих сталей – для підвищення твердості і зносостійкості.

Сіліціювання – процес насичення поверхневого шару деталі кремнієм для підвищення корозійної стійкості та кислотостійкості. Сіліціюванню піддають деталі з низько- і середньовуглецевих сталей, а також з ковкого і високоміцного чавунів.

Борування – процес насичення поверхневого шару деталі бором. Призначення борування – підвищити твердість, опір абразивному зносу і корозії в агресивних середовищах, теплостійкість і жаростійкість сталевих деталей. Існує два методи борування: рідинне електролізне і газове борування.

Сульфідкування – процес насичення поверхневого шару сталевих деталей сіркою для поліпшення протизадирних властивостей та підвищення зносостійкості деталей.

Сульфоціонування – процес поверхневого насичення сталевих деталей сіркою, вуглецем і азо-

том. Спільний вплив сірки і азоту в поверхневому шарі металу забезпечує кращі протизадирні властивості і зносостійкість у порівнянні з насиченням тільки сіркою.

Термічна обробка чавуну

Термічну обробку чавунів проводять для зняття внутрішніх напружень, що виникають під час лиття і викликають з плином часу зміни розмірів і форми виливки, зниження твердості і поліпшення оброблюваності різанням, підвищення механічних властивостей. Чавун піддають відпалу, нормалізації, загартуванню та відпуску, а також деяким видам хіміко-термічної обробки (азотуванню, алітуванню, хромуванню).

Відпал для зняття внутрішніх напружень. Такому відпалу піддають чавуни за наступних температур: сірий чавун з пластинчастим графітом – 500 – 570°C; високоміцний чавун з кулястим графітом – 550 – 650°C; низьколегований чавун – 570 – 600°C; високолегований чавун – 620 – 650°C. За такого відпалу фазових перетворень не відбувається, а знімаються внутрішні напруги, підвищується в'язкість, виключається викривлення і утворення тріщин в процесі експлуатації.

Пом'якшувальний відпал (відпал графітуючий низькотемпературний). Проводять для покращення оброблюваності різанням і підвищення пластичності. Його здійснюють тривалою витримкою за 680 – 700°C або повільним охолодженням виливків за 760 – 700°C. Для деталей складної конфігурації охолодження повільне, а для деталей простої форми – прискорене.

Відпал графітуючий, в результаті якого з білого чавуну отримують ковкий чавун.

Нормалізацію застосовують для збільшення зв'язаного вуглецю, підвищення твердості, міцності і зносостійкості сірого, ковкого і високоміцного чавунів. Чавун (виливки) нагрівають вище температур інтервалу перетворення 850 – 950°C і після витримки охолоджують на повітрі.

Загартуванню піддають сірий, ковкий і високоміцний чавун для підвищення твердості, міцності і зносостійкості. За способом виконання гартування чавуну може бути об'ємним безперервним, ізотермічним і поверхневим.

За об'ємного безперервного загартування чавун нагрівають до температури 850 – 950°C. Потім витримують для прогріву і повного розчинення вуглецю. Охолодження здійснюють у воді чи олії. Після гартування проводять відпуск за температури 200 – 600°C. У результаті підвищується твердість, міцність і

зносостійкість чавуну.

За **ізотермічного загартування** чавуни нагрівають так само, як і за об'ємного безперервного загартування, витримують від 10 до 90 хвилин, охолоджують у розплавленій солі за 200 – 400°C і після витримки охолоджують на повітрі.

Поверхнєве загартування – з нагрівом поверхневого шару киснево-ацетиленовим полум'ям, струмами високої частоти або в електроліті. Температура нагріву – 900 – 1000° С. Охолодження у воді, маслі або масляній емульсії.

Старіння застосовують для стабілізації розмірів литих чавунних деталей, запобігання викривленню і зняття внутрішніх напружень. Зазвичай старіння проводять після грубої механічної обробки. Розрізняють два види старіння: природне і штучне.

Природне старіння здійснюється на відкритому повітрі або в приміщенні. Вироби після лиття витримують протягом 6 – 15 місяців.

Штучне старіння здійснюється за підвищених температур; тривалість – декілька годин. Виливки

чавуну завантажують у піч, нагріту до 100 – 200°C, нагрівають до температури 550 – 570°C зі швидкістю 30 – 60°C в годину, витримують 3 – 5 годин і охолоджують разом з піччю зі швидкістю 20 – 40° С за годину до температури 150 – 200°C, а потім охолоджують на повітрі.

Хіміко-термічна обробка чавуну

Для підвищення поверхневої твердості і зносостійкості сірі чавуни піддають азотуванню. Найчастіше азотують сірі перлітні чавуни, леговані хромом, молібденом, алюмінієм. Температура азотування – 550 – 580° С, час витримки – 30 – 70 годин. Крім азотування, підвищення поверхневої твердості і зносостійкості легованого сірого перлітного чавуну можна досягти газовим та рідинним ціануванням за температури 570°C. Для підвищення жаростійкості чавунні виливки можна піддавати алітуванню, а для отримання високої корозійної стійкості в кислотах – сіліціюванню.

1.3.5. Поверхнєво-пластична деформація та інші методи

Значний ефект підвищення довговічності деталей, що працюють в умовах циклічних навантажень і які мають концентратори напружень, місця тугих посадок, досягається в результаті поверхневого наклепу.

За **пластичної деформації** поверхневі шари металу збільшуються в об'ємі, однак цьому перешкоджають недеформовані шари, які лежать глибше. В результаті взаємодії сил, що діють у поверхневих шарах і в серцевині деталі, **поверхневі шари** знаходяться під дією залишкових напружень стискування, нижні шари – під дією залишкових напружень розтягування.

Схема зміни напруженого стану по перерізу гладких валів після наклепу наведена на рис. 1.52. Для валу, не зміцненого наклепом, епюра граничних напружень нанесена у вигляді прямої лінії. Максимальні напруження будуть діяти на поверхні деталі. Після наклепу поверхневі шари мають підвищену міцність, що відображається зсувом кривої граничних напружень. Максимум напружень у цьому випадку переміститься з поверхні вглиб тіла деталі на товщину зміцненого шару і буде визначатися точкою торкання епюри напружень від зовнішніх навантажень і епюри граничних напружень. У цій точці можлива поява тріщини від втоми. Підвищення границі витри-

валості за інших рівних умов буде збільшуватися зі зменшенням розміру деталі. Зі збільшенням товщини наклепаного шару чи за постійного відношення товщини зміцненого шару до радіуса деталі підвищення границі витривалості сталей різних марок відбувається однаково.

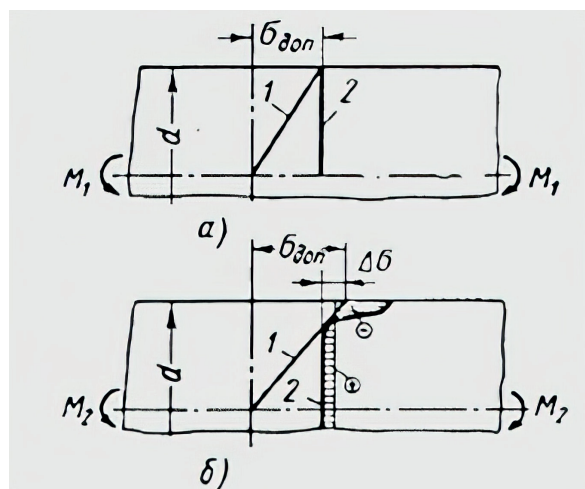


Рис. 1.52. Схема розподілу напружень у гладких валах до зміцнення поверхні (а) і після зміцнення (б); 1 – епюра напружень від зовнішнього навантаження; 2 – епюра граничних напружень

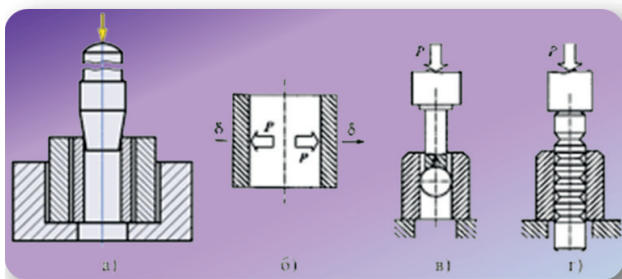


Рис. 1.53. Відновлення розмірів деталей шляхом пластичної деформації

Після наклепу деталі з різних матеріалів за однакових режимів обробки отримують різну глибину наклепаного шару чи різні величини залишкових напружень. Загартовані середньовуглецеві і легировані сталі мають меншу глибину наклепаного шару в порівнянні з маловуглецевими, однак величина залишкових напружень у них значно вища.

Залишкові напруження стиснення не впливають на величину ударної в'язкості сталі. Втрата пластичності поверхневого шару після наклепу знижує ударну в'язкість деталі в цілому, тому поверхневе зміцнення дрібних деталей, що працюють в умовах ударних навантажень, не доцільне.

Пластичне деформування поверхневих шарів здійснюється за допомогою різних способів, що умовно поділяють на дві групи:

- 1) створення деформаційного зусилля шляхом безупинного контакту з деталлю (статичні);
- 2) ударна дія на деталь робочих тіл чи інструментів (динамічні).

Найширшого застосування в різних галузях промисловості отримали наступні способи ППД: обкочування роликами, дробоструминна і гідродробоструминна обробка, динамічне зміцнення чеканкою, електромеханічне зміцнення, зміцнення тертям, вибухом тощо. Крім того, у низці випадків застосовують такі види ППД, як алмазне вигладжування, дорнування, розкочування отворів роликами та інші. Існуючі методи зміцнення ППД відрізняються кінематичними схемами, видами деформуючих елементів і характером їх контакту з поверхнею, що обробляється.

Вибір оптимального способу обробки і раціональної конструкції інструмента залежить від наступних факторів:

- розмірів і форми деталей, що обробляються;
- міцності і твердості матеріалу виробів;
- вимог до точності і якості поверхні;
- характеру виробництва.

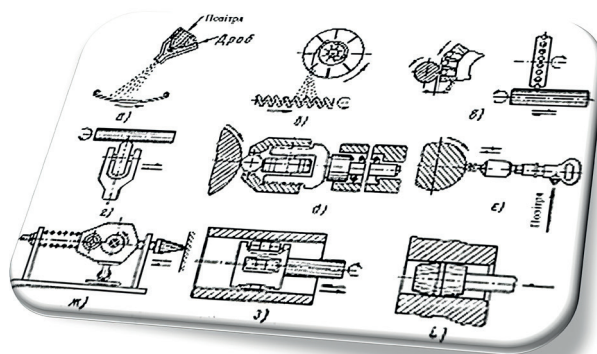


Рис. 1.54. Основні види поверхневого зміцнення:
а – пневматичний наклеп дробом; б – механічний наклеп дробом; в – відцентрово-кульковий наклеп;
г – обкочування роликом; д – обкочування кулькою;
е – обкочування роликом, що вібрує;
ж – наклеп механічною чеканкою;
з – розкочування отвору роликами; і – дорнування

Лазерне наплавлення



Лазерне наплавлення – це метод нанесення матеріалу під час впливу лазерного променя, який утворює ванну з додаванням присадного дроту або порошку.

Весь процес відбувається під мікроскопом із збільшенням 10–20 разів, діаметр лазерного променя варіюється від 0,2–2,0 мм, залежно від діаметра дроту. Точка лазерного променя має бути у два рази більше від діаметра присадного дроту, також весь процес наплавлення відбувається в середовищі захисного газу (аргон підвищеної чистоти). Найчастіше наплавлення використовують для отримання початкових розмірів зношених або пошкоджених деталей.

Промінь імпульсного лазера має найбільший коефіцієнт зосередженості зварювального джерела енергії, тому діаметр сфокусованого променя лазера становить 0,2 – 0,3 мм, що дозволяє мінімізувати об'єми розплаву і відповідно зменшити передачу тепла в оброблюваний матеріал. Відновлювальне наплавлення застосовується для отримання первинних розмірів зношених або пошкоджених деталей. У цьому випадку наплавлений метал близький за складом і механічними властивостями до основного металу.

Лазерне наплавлення застосовується у випадку, якщо зона термічного впливу має бути мінімальною. Такій обробці піддаються хрестовини карданних валів (через жорсткий допуск на перпендикуляр-

ність осей) і тонкостінної оболонки самих карданих валів. Крім того, лазерне наплавлення може використовуватися для обробки схильних до зносу деталей з великими габаритами.

Дана технологія широко використовується під час ремонту прес-форм, штампів, фільтрів, медичних інструментів та інших видів інструментального оснащення. Технологія лазерного наплавлення дозволяє усувати різні дефекти, що виникають під час виробництва та експлуатації, такі як: відколи, вибої, тріщини, механічне зношення, виробничий брак. Ремонт прес-форм методом лазерного наплавлення дозволяє швидко і якісно усунути різні дефекти на поверхні і не зупиняти виробництво надовго, що дозволить заощадити час і гроші.

Застосування імпульсного лазерного наплавлення.

- Ремонт, відновлення та модернізація прес-форм, штампів.
- Відновлення геометрії деталей.
- Ремонт, відновлення медичних інструментів.

Переваги лазерного наплавлення:

- мале (локальне) і контрольоване за глибиною проплавлення за високої міцності зчеплення;
- можливість отримання тонких (від 0,3 мм) шарів;
- малі деформації наплавлених деталей завдяки мінімізації зони термічного впливу;
- можливість нанесення покриття на важкодоступні поверхні;
- можливість підведення лазерного випромінювання до декількох робочих місць, що скорочує час на переналадження обладнання;
- отримане покриття характеризується підвищеною стійкістю до корозії та ерозії;
- можливість обробки великогабаритних деталей завдяки високій продуктивності (10–25 кг/год) наплавлення;
- мінімальне перемішування основного матеріалу і матеріалу наплавлення;
- підбір присадного дроту за хімічним складом;
- мінімальний тепловий нагрів виробів (відсутність деформації);
- твердість наплавленого матеріалу понад 56 одиниць;
- мінімальна обробка після наплавлення
- висока точність;
- відсутність зміни структури матеріалу (гарт, відпуск).



Існує три способи лазерного наплавлення:



- з подаванням матеріалу в зону плавлення (газопорошкове лазерне наплавлення);
- оплавлення попередньо нанесених порошкових паст (шлікерних покриттів);
- оплавлення напилених шарів (лазерне переплавлення напилених покриттів).

Газопорошкове лазерне наплавлення

Для транспортування порошку у зону наплавлення застосовують повітря, азот, гелій, аргон або вуглекислий газ. У випадку наплавлення самофлюсованих порошків тип газу практично не впливає на процес формування покриття. Під час використання несамофлюсованих порошків слід застосовувати інертні гази, щоб уникнути окиснення матеріалу порошку. При цьому найкращі технологічні властивості мають гранульовані порошки з розміром частинок 40–160 мкм.

Шлікерне лазерне наплавлення

Під час лазерного наплавлення з оплавленням шлікерних покриттів найважливішим є вибір в'язучої речовини для приготування пасти. Відоме застосування як зв'язки таких речовин: епоксидна смола, самотвердні пластмаси, ізопропіловий спирт, рідке скло, силікатний клей, вуглеводні, клей БФ-2, цапонлак, клейстер, клей «Суперцемент» тощо. Метод є перспективним під час нанесення одиничних валиків.

Лазерне переплавлення напилених покриттів

Одержання товстих поверхневих шарів із покриттям смуг добре забезпечується під час оплавлення лазером попередньо напилених покриттів. Основні переваги методу над шлікерним є: відсутність вигорання шару по боках від оплавленого об'єму, повніше використання порошку, відсутність кіптяви і сажі. Одночасно вдається покращити властивості напилених покриттів, особливо їх адгезію з основою.

1.3.6. Методи відновлення спрацьованих деталей

Відновлення деталей способом ремонтних розмірів і додаткових деталей.

Спосіб ремонтних розмірів полягає в тому, що одна зі сполучених деталей, зазвичай найскладніша і найдорожча, обробляється до виведення слідів зношування або до одержання певного заздалегідь установленого розміру, а друга замінюється новою або відновленою під отриманий розмір основної деталі.

Нові розміри деталей сполучення, одержувані після ремонту, називають ремонтними. У практиці ремонту машин застосовують два види ремонтних розмірів: стандартні й вільні.

Стандартні ремонтні розміри встановлюють і затверджують заздалегідь на основі вивчення зношування поверхонь сполучених деталей. Система стандартних ремонтних розмірів передбачає промисловий випуск сполучених деталей ремонтного розміру у вигляді запасних частин, що дозволяє зменшити тривалість ремонту.

Під час обробки деталі під вільний розмір з її поверхні знімають тільки такий шар металу, що необхідний для одержання правильної геометричної форми й шорсткості. Величина вільного ремонтного розміру заздалегідь невідома, тому що запчастини сполучених деталей виготовляють у напіввиготовленому стані, із залишенням припуску на завершальну обробку.

Відновлювані поверхні деталей можуть мати кілька ремонтних розмірів, величина й кількість яких залежать від зношування деталей за міжремонтний період, припуску на механічну обробку й запасу міцності деталі.

Обробка деталей під ремонтний розмір знайшла широке застосування у ремонті гірських машин. Цим способом відновлюють місця посадки різних валів під підшипники ковзання, циліндри гідравлічних стійок, гільзи циліндрів компресорів та ін.

Перевагами цього способу є: простота технологічного процесу й застосовуваного устаткування; висока економічна ефективність; збереження взаємозамінності деталей у межах певного ремонтного розміру.

До недоліків способу відносять: труднощі в постачанні підприємств запасними частинами; ускладнення організації процесів комплектування деталей, зборки вузлів і зберігання деталей на складах.

Сутність способу додаткових деталей полягає

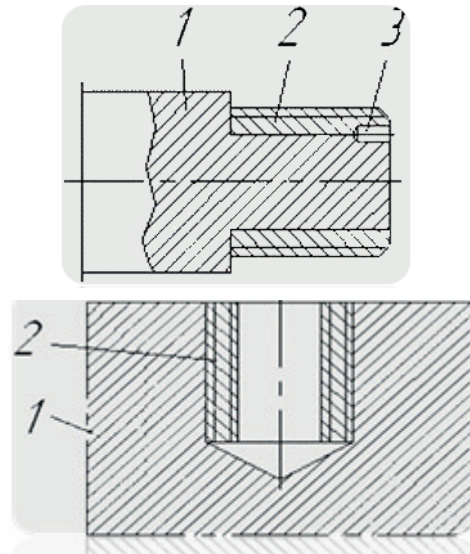


Рис. 1.55. Відновлення за допомогою додаткової ремонтної деталі:

1 – деталь, 2 – додаткова ремонтна деталь,
3 – поєднувальна деталь

в тому, що зношену або ушкоджену частину деталі видаляють (відрізають, проточують) і на її місце встановлюють додаткову деталь (втулку, накладку, склянку, вінець та ін.), виготовлену з такого ж матеріалу, що й основна деталь.

У ремонтній практиці спосіб додаткових деталей застосовують для відновлення сильно зношених кінцевих шийок валів, посадкових отворів під підшипники кочення в редукторах, коробок передач, моточин шестерень, шківів, різьбових отворів та ін.

Спосіб додаткових деталей технологічно простий і дозволяє відновлювати працездатність гранично зношених поверхонь тертя деталей. Однак область його застосування обмежена, тому що конструктивно не завжди можливо встановити додаткові деталі, зменшення робочих перетинів приводить до зниження міцності деталі.



Вплив методів поверхневого пластичного деформування на особливості втомного та корозійно-втомного руйнування сплаву Д16Т

1.3.7. Відновлення деталей наплавленням



Розрізняють два види зварювальних робіт – зварювання й наплавлення.

**Практичний елемент
виконання завдання з теми
«Наплавлення»**



Зварювання застосовують для з'єднання зламаних частин деталей машин, для закладення тріщин і пробоїв в них, для накладання заплат під час ремонту резервуарів, бункерів і в інших випадках.

Наплавлення застосовують для відновлення розмірів зношених деталей шляхом нанесення шару металу в тих місцях, де виявлене неприпустиме зношування. Часто наплавлення використовується для підвищення зносостійкості деталей нанесенням на поверхні тертя твердосплавних покриттів.

Під час ремонту промислового устаткування ремонтними службами частіше використовується електродугове й газове зварювання й наплавлення.

Для електродугового зварювання використовують постійний або змінний струми, причому при зварюванні постійним струмом пряму (деталь підключена до позитивного електрода, а зварювальний електрод – до негативного) і зворотну полярність. Зворотна полярність застосовується рідше – у тих випадках, коли треба зменшити нагрівання деталей.

Більш економічними є джерела змінного струму. За постійного струму електрична дуга виходить більш стабільною й стійкою, тому якість звареного шва краще, ніж при зварюванні змінним струмом.

Електроди для ручного зварювання підрозділяються на ті, що не плавляться, й ті, що плавляться. Електроди, що не плавляться, – це стержні з вольфраму, електротехнічного вугілля або синтетичного графіту. При зварюванні електродами, що не плавляться, у зону дуги вводиться присадний матеріал у вигляді металевих стрижнів сталевого зварювального дроту, чавуну, міді, бронзи залежно від марки матеріалів, що зварюють.



Електроди, що плавляться, – це металеві стержні з покриттям, які виготовляють із низьковуглецевого або легованого зварювального дроту 0,3...12 мм.

Покриття електродів підрозділяються на тонкі (стабілізуючі) і товсті (якісні).

Тонкі покриття призначені для запалювання й стабілізації дуги (крейда + рідке скло) 0,1...0,3 мм.

Товсті покриття (0,5/2,5 мм на сторону) призначені для стабілізації дуги, захисту розплавленого металу від дії навколишнього середовища й одержання необхідної якості (хімічного складу) і властивостей.

Для одержання якісного шва місце зварювання ретельно очищають від бруду й іржі. На зварювальних кромках знімають фаски, розміри й форма яких залежить від товщини металу, що зварюється.

Під час зварювання внаслідок нерівномірного нагрівання різних ділянок деталі виникають внутрішні напруження, які можуть привести до деформації (короблення) металу, а також утворення тріщин.

Ручне наплавлення застосовується для відновлення розмірів деталей, за своєю конфігурацією незручних для автоматичних наплавлень (кулачкові муфти, зірочки). Часто цей спосіб наплавлення застосовують для відновлення розміру деталі без розбирання машини, для ремонту важкодоступних місць деталі й за значних її розмірів і ваги.

Електродугове наплавлення проводять з використанням металевих, вугільних і графітових електродів. Вибір типу металевих електродів залежить від марки сталі деталі, необхідної твердості й зно-

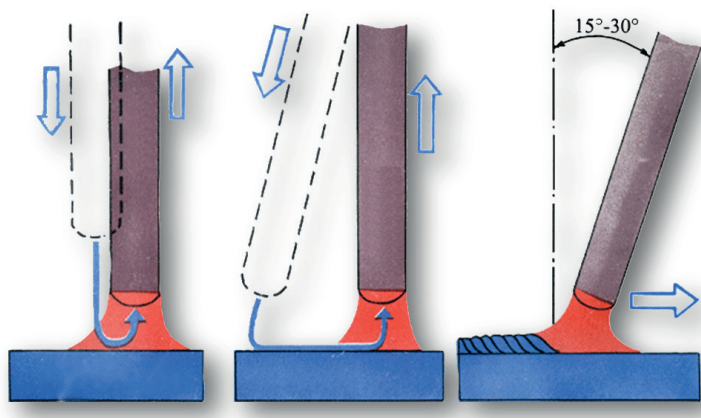


Рис. 1.56. Техніка виконання наплавлення

состійкості покриття.

Для поліпшення структури й механічних властивостей металу, а також для зняття внутрішніх напружень деякі деталі після наплавлення піддають термічній обробці (нормалізації відпустку). Остаточний вид обробки деталі – механічний, за допомогою якого деталі надаються необхідні розміри й шорсткість відновленої поверхні.

Устаткування робочого місця для ручного електродугового зварювання й наплавлення складається зі зварювального апарата, кабелів, електродотримача, запобіжного щитка, стола (стелажа) і різних складально-зварювальних пристосувань. Як джерела змінного струму використовуються зварювальні трансформатори.

У майстернях для перетворення змінного струму трансформатора у постійний застосовують випрямлячі. Для ручного зварювання і наплавлення також застосовують переносні ручні зварювальні інвертори, які є компактними, зручними, легкими сучасними апаратами.

За газового зварювання й наплавлення нагрівання й розплавлення металу деталі й присадного дроту проводять полум'ям, одержуваним від згоряння різних газів.

У порівнянні з електродуговим газове зварювання є малопродуктивним, дорожчим й вимагає від зварювальника високої кваліфікації. У якості присадного матеріалу використовують зварювальний і наплавний дріт, стрижні із чорних і кольорових металів.

Ручне зварювання і наплавлення є дуже трудомісткими і нелегкими процесами, тому під час ремонту деталей у стаціонарних умовах широко використовують різні способи механізації наплавлення:

1. Автоматичне наплавлення під шаром флюсу

Сутність наплавлення під шаром флюсу полягає в тому, що дуговий проміжок і ванна розплавленого металу захищаються від шкідливого впливу повітря оболонкою розплавленого флюсу (рис. 1.57).

До електрода (сталевий дріт або стрічка) і деталі підводять напругу від джерела струму й між ними збуджується дуга. За допомогою роликового механізму дріт безупинно подається в зону дуги, а з бункера надходить гранулований флюс шаром 30 – 50 мм. Електрична дуга частково розплавляє флюс і горить усередині газової бульбашки, обмеженої еластичною оболонкою, що охороняє розплавлений метал від шкідливої дії кисню й азоту

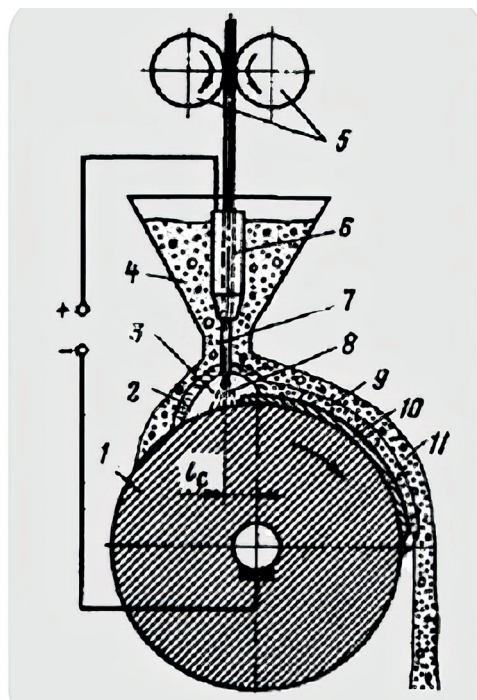


Рис. 1.57. Схема автоматичного наплавлення під флюсом:

- 1 – деталь, що наплавляється; 2 – оболонка із розплавленого флюсу; 3 – газовий простір;
- 4 – бункер; 5 – ролики подачі дроту;
- 6 – напрямний мундштук;
- 7 – електродний дріт; 8 – електрична дуга;
- 9 – шлакова корка; 10 – шар наплавленого металу;
- 11 – флюс

повітря, зменшує розбризкування металу, поліпшує якість формування наплавленого шва.

У процесі наплавлення деталь обертається, а наплавна головка переміщається уздовж осі деталі, внаслідок чого наплавлення ведеться по гвинтовій лінії. Для запобігання стікання металу при наплавленні циліндричних деталей електрод зміщають від осі обертання вала на величину у бік, протилежний напрямку обертання.

Для наплавлення під шаром флюсу можна використовувати зварювальні, наплавні й порошкові дроти, а також сталеві й порошкові стрічки.

Флюси використовують двох видів: плавлені й неплавлені (керамічні). Плавлені флюси (АН-20, АН-30, ОСЦ-45, АН-348А) забезпечують стійке горіння електричної дуги, належне формування наплавлених валиків, мають високі захисні властивості, але мають обмежену легуючу здатність. Неплавлені керамічні флюси (АНК-18, АНК-19, К-П, КС-Х14Р) містять легуючі компоненти (ферохром, феротитан,

нікель та ін.) і дозволяють одержати наплавлений метал різного хімічного складу.

Установка для автоматичного наплавлення під шаром флюсу складається із джерела струму, наплавної головки, пристрою для переміщення наплавної головки й деталі, що наплавляється. Наплавлення під шаром флюсу проводять на постійному струмі зворотної полярності. Як джерела струму використовують зварювальні генератори й випрямлячі, застосовувані для ручного зварювання.

Режим наплавлення під шаром флюсу дуже впливає на продуктивність процесу і якість напавленого металу. Автоматичне наплавлення під флюсом застосовується для відновлення великих деталей з великим ступенем зношування.

Основними перевагами автоматичного наплавлення під флюсом є: висока продуктивність процесу завдяки застосуванню струму великої щільності; висока якість напавленого металу внаслідок належного захисту дуги від навколишнього середовища й стійкості процесу у зв'язку з його автоматизацією; можливість одержання напавленого шару великої товщини; різке зменшення втрат електродного металу й електроенергії на випромінювання тепла й світла; можливість одержання металу з високими фізико-механічними властивостями в результаті його легування; полегшення умов роботи зварювальника.

Однак цей спосіб наплавлення має й низку недоліків: підвищене нагрівання деталей приводить до зміни структури й механічних властивостей основного металу; труднощі наплавлення циліндричних деталей діаметром менше 60 мм, тому що розплавлений метал і флюс не встигають затвердіти й стікають із напавлених поверхонь; застосування дорогих флюсів і порошкових дрітків здорожчує відновлення деталей; складність наплавлення внутрішніх циліндричних поверхонь діаметром 120 – 150 мм.

2. Автоматичне й напівавтоматичне наплавлення в середовищі захисного газу.

Сутність наплавлення деталей у середовищі захисних газів полягає в тому, що електрична дуга горить між електродом і деталлю в струмені газу, що витісняє повітря із плавильного простору й захищає в такий спосіб розплавлений метал від шкідливого впливу кисню й азоту повітря.

Як захисні гази застосовують аргон, гелій (для наплавлення всіх металів), азот (для міді і її сплавів), вуглекислий газ і водяну пару (для сталі й чавуну). Застосування аргону й гелію забезпечує високу

якість напавленого шару металу, однак через високу вартість і дефіцитність зазначених газів їх використовують лише для виготовлення й ремонту відповідальних деталей у спеціальному машинобудуванні.

У практиці ремонту деталей машин найширше застосовується наплавлення в середовищі вуглекислого газу, для якого характерна висока стабільність дуги на малих струмах. На відміну від наплавлення під флюсом місце наплавлення добре видно, немає необхідності видаляти шлакову кірку, підсипати й забирати флюс.

Під дією високих температур вуглекислий газ при напавленні може розкластися на окис вуглецю й атомарний кисень, які вступають у взаємодію з розплавленим металом і сприяють утворенню пор і вигорянню легуючих елементів. Для попередження цих шкідливих явищ у зварювальну ванну вводять розкислювачі (кремній, хром, марганець, титан), що досягається застосуванням при напавленні вуглисто-кремністих і легованих дрітків (Св-10ГС, Св-18ХГСА, Нп-30ХГСА) з підвищеним вмістом зазначених елементів.

Автоматичне й напівавтоматичне наплавлення в середовищі вуглекислого газу широко використовують для відновлення деталей машин зі складною конфігурацією, колінчатих і шліцевих валів, опорних роликів, корпусів редукторів, різьбових деталей, шестерень, зірочок, круглих деталей малих діаметрів (до 40 – 60 мм) із нанесенням шару невеликої товщини (від 0,8 до 1 мм), а також деталей зі зношеними отворами, зокрема малого діаметра й великої глибини.

Перевагами наплавлення деталей у середовищі вуглекислого газу в порівнянні з напавленням під флюсом є: можливість наплавлення циліндричних деталей невеликих розмірів (10 мм і більше); висока продуктивність процесу; менше нагрівання деталі під час наплавлення; відсутність необхідності очищення напавленого шару від жужильної кірки. Недоліки цього способу наплавлення: більші втрати металу на розбризкування; необхідність застосування спеціальних сортів дроту; відносно низькі механічні властивості напавленого шару.

3. Автоматичне вібродугове наплавлення.

Сутність вібродугового наплавлення полягає в тому, що електродний дріт розплавляється переривчасто дугою, що горить. Переривчастість дуги забезпечується вібраціями електродного дроту уздовж її осі за допомогою спеціального пристрою. До місця горіння переривчастої дуги подається

охолоджувальна рідина, завдяки чому температура нагрівання деталей при наплавленні не перевищує 80 – 90 °С.

Принципова схема установки для вібродугового наплавлення показана на рис. 1.58.

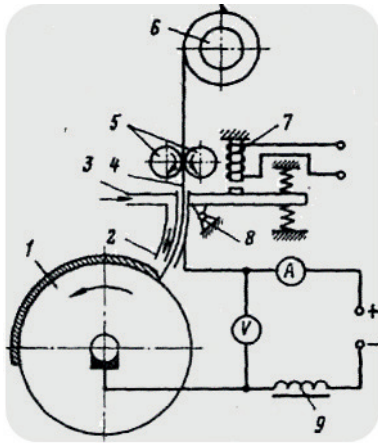


Рис. 1.58. Схема установки для вібродугового наплавлення:

- 1 – деталь; 2 – вібруючий мундштук;
- 3 – канал для подачі рідини; 4 – електродний дріт;
- 5 – роликовий механізм; 6 – касета;
- 7 – електромагнітний вібратор; 8 – вісь, відносно якої здійснюється коливання мундштука;
- 9 – катушка самоіндукції

Для наплавлення використовують зварювальні й наплавні дроти діаметром 1,2 – 2 мм.

В якості охолоджувальної рідини застосовують 3 – 6% розчин кальцінованої соди або 20 – 30% водний розчин гліцерину. Рідина подається насосом на наплавлені ділянки деталі на відстані 10 – 40 мм від зони горіння дуги.

Вібродугове наплавлення застосовують переважно для відновлення циліндричних деталей. Установки для вібродугового наплавлення комплектуються із джерела живлення електричним струмом; наплавної головки; механізму для закріплення й обертання деталі (як правило, переустановлений токарський верстат); механізму подачі рідини.

Переваги вібродугового наплавлення: незначне нагрівання деталей під час наплавлення, що сприяє збереженню структури термічно оброблених деталей і не приводить до їхнього короблення; висока міцність зчеплення наплавленого металу з основним; простота використовуваного устаткування; висока продуктивність процесу.

Недоліки способу: більші втрати металу на вигар і розбризкування (10 – 30%); зниження втомної міцності деталі після наплавлення на 30 – 40%; нерівномірна твердість нанесеного шару металу.

1.3.8. Поновлення зношених деталей металізацією та електролітичним способом

Металізація – це нанесення розплавленого, розпиленого металу на поверхню деталі. Фізична сутність процесу металізації полягає в наступному: метал покриття розплавляється яким-небудь джерелом тепла й за допомогою стисненого повітря або інертного газу розпорошується на дрібні частки розміром від 3 до 300 мкм. Розплавлені частки металу пролітають відстань від зони плавлення до поверхні деталі зі швидкістю 100 – 300 м/с за тисячні частки секунди. За такий проміжок часу частки не встигають охолонути й при зустрічі з поверхнею деталі пластично деформуються й заповнюють її нерівності. З'єднання часточок металу з поверхнею деталі й між собою відбувається за рахунок механічних і частково молекулярних зв'язків.

Нанесене покриття є пористим, тонким шаром металу порівняно високої твердості й низької механічної міцності. Температура нагрівання деталі при металізації звичайно не перевищує 150 – 200

°С, тому основний метал не зазнає ніяких структурних змін і зберігає повністю свої механічні властивості.

Металізацією можна нанести покриття товщиною від декількох мікрметрів до 10 мм практично будь-якого металу й сплаву на вироби зі сталі, чавуну, кольорових металів. У практиці ремонту машин металізація застосовується для відновлення розмірів і форми зношених поверхонь деталей, для нанесення антифрикційних і антикорозійних покриттів, закладення зовнішніх раковин і тріщин, для заповнення ваги при балансуванні.

Щодо доцільності застосування металізації для відновлення зношених деталей варто враховувати, що металізований шар не підвищує їхньої міцності на розтягання, вигин, крутіння, а отже, металізація незастосовна для відновлення деталей з ослабленим перетином. Обмежене застосування має металізація для відновлення деталей, які зазнають

динамічного навантаження.

Зносостійкість металізованих покриттів досить висока, що пояснюється значною їхньою пористістю (до 10 – 20% обсягу), що сприяє утриманню в наплавленому шарі оливи.

Залежно від виду теплової енергії, використовуваної в металізаційних апаратах для плавлення металу, розрізняють три основних способи металізації: електродуговий, газовий і височастотний. У ремонтному виробництві найширше застосування одержав електродуговий спосіб.



Електролітичне (гальванічне) покриття – це процес нанесення металу на поверхню деталі шляхом кристалізації його з розчину електроліту в результаті проходження через нього електричного струму.

Схема установки для електролітичного нарощування металу показана на рис. 1.59. Як електроліти використовують водяні розчини солей тих металів, які передбачено осаджувати на деталь? Катодом звичайно служить деталь, а анодом – пластини або стрижні з металу або графіту. Аноди бувають розчинні й нерозчинні. Розчинні аноди виготовляють із металу, що осаджує, а нерозчинні – зі свинцю, платини, графіту, вугілля. У процесі електролізу метал розчинних анодів переходить в електроліт у вигляді позитивних іонів.

Основним обладнанням для нанесення електролітичних покриттів є джерело струму й ванна. Для живлення гальванічних ванн використовують: постійний струм незмінної полярності; реверсивний постійний струм (полярність міняється за визначе-

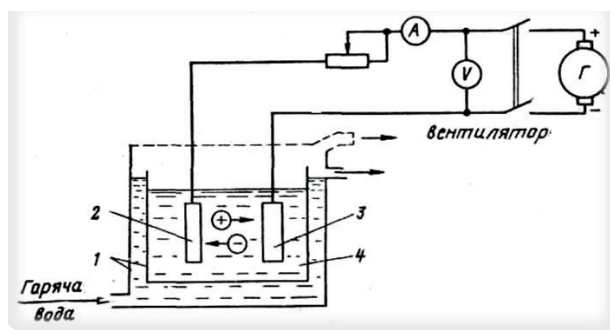


Рис. 1.59. Схема установки для електролітичного нарощування металу:

1 – двостінна ванна; 2 – анод; 3 – катод;
4 – електроліт

ною програмою); асиметричний змінний струм, коли струм у катодний напівперіод (деталь включена на мінус) більший, ніж в анодний. Нанесення електролітичних покриттів здійснюється в стаціонарних і пересувних ваннах.

Процес нанесення електролітичних покриттів включає три групи операцій: підготовку деталей до покриття; нанесення покриття; обробку деталей після нанесення покриття.

Підготовка деталей до покриття містить: попередню механічну обробку зношених поверхонь із метою надання їм правильної геометричної форми; ізоляцію місць, що не підлягають покриттю; установку деталей у підвісне пристосування; знежирення поверхонь деталей, що підлягають нарощуванню; декапірування (легке травлення) для видалення з поверхонь найтонших окисних плівок.

Під час ремонту деталей машин електролітичні покриття застосовують для відновлення розмірів зношених деталей, додання їхнім поверхням високої твердості й зносостійкості та для захисту деталей від корозії. Найчастіше в ремонтній практиці використовують хромування й остальювання (залізнення), рідше міднення, цинкування, нікелювання, кадмінування та ін.

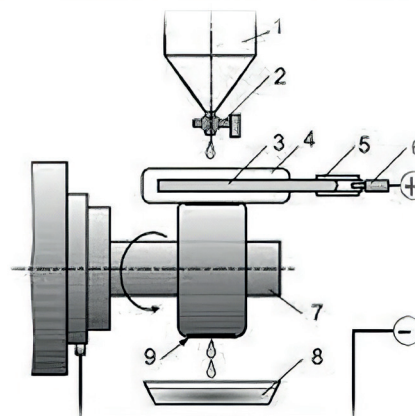
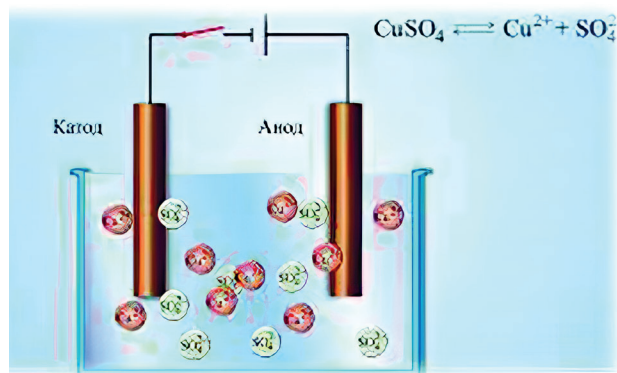


Рис. 1.60. Методи відновлення металізацією

Хромування застосовують для відновлення розмірів зношених деталей, нанесення захисно-декоративних покриттів і підвищення зносостійкості поверхонь деталей.

Основними перевагами хромових покриттів

є: висока твердість електролітичного хрому; підвищена зносостійкість, що перевищує в 2 – 3 рази зносостійкість загартованої сталі 45; висока кислото- і теплостійкість; добре зчеплення обложеного хрому з будь-якими металами основи.

До недоліків процесу хромування відносять:

порівняно низьку продуктивність процесу (не більше 0,03 мм/год) через малі значення електрохімічного еквівалента й виходу по струму; обмеження товщини покриття (до 0,3 мм), тому що за великої товщини шар хрому відшаровується й втрачає зносостійкі властивості; висока вартість процесу.

Як електроліт застосовують водяний розчин хромового ангідриду CrO_3 і сірчаної кислоти.

Для хромування використовують нерозчинні аноди, виготовлені зі сплаву, що складається з 94 %



Осталювання – процес електролітичного заліза. Осталювання набагато продуктивніше й економічніше хромування.

свинцю й 6 % сурми.

У практиці ремонту машин хромування застосовують для відновлення посадкових місць, що стикаються з ущільнювачами, кулько- і роликопідшипників, циліндрів перфораторів та інших деталей. При цьому для нерухомих посадок, як правило, застосовують гладкі хромові покриття, а для рухливих з'єднань, що працюють в умовах тертя ковзання, – пористі покриття.

Осталювання застосовують переважно для нарощування зношених поверхонь деталей під нерухомі посадки, рідше – для відновлення рухомих з'єднань. При осталюванні використовують розчинні аноди, виготовлені із маловуглецевих сталей 08 або 10.



Питання для самоконтролю

1. Опишіть відновлення деталей способом ремонтних розмірів.
2. Опишіть відновлення додатковими деталями.
3. Опишіть процес відновлення деталей металізацією.
4. Класифікація видів зношування.
5. Відновлення поверхонь деталей шляхом пластичної деформації.
6. Що таке електродугове наплавлення?
7. Опишіть газову цементацію.
8. Назвіть види хіміко-термічної обробки.
9. Перерахуйте методи поверхневого зміцнення.

РОЗДІЛ 1.4. ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

1.4.1. Наука про надійність. Термінологія, поняття, визначення, показники надійності

1.4.2. Фактори, що впливають на надійність устаткування

1.4.3. Підхід до проектування і конструювання з позицій теротехнології

1.4.4. Надійність елемента, який працює до першої відмови

1.4.5. Методика обробки даних статистичних спостережень про надійність

1.4.6. Отримання інформації про надійність обладнання

1.4.7. Елементи теорії ймовірності. Закони розподілення напрацювання до відмов

1.4.1. Наука про надійність.

Термінологія, поняття, визначення, показники надійності



Надійність – властивість технічних об'єктів зберігати у встановлених межах часу значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати відповідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Надійність є комплексною властивістю, яка, залежно від призначення об'єкта та умов його застосування, може включати:

- безвідмовність;
- довговічність;
- ремонтпридатність;
- збережуваність або поєднання цих властивостей.

Безвідмовність – властивість об'єкта безперервно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання.

Довговічність – властивість об'єкта зберігати працездатний стан до настання граничного стану за встановленої системи технічного обслуговування і ремонту.

Ремонтпридатність – властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до підтримання і відновлення працездатного стану шляхом технічного обслуговування і ремонту.



Об'єкт може знаходитися в наступних станах:

1) справний стан – стан об'єкта, за якого він відповідає усім вимогам нормативно-технічної документації;

2) несправний стан – стан об'єкта, за якого він не відповідає хоч б одній з вимог нормативно-технічної документації;

3) працездатний стан – стан об'єкта, за якого значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної документації;

4) непрацездатний стан – стан об'єкта, за якого значення хоч б одного параметра, що характеризує здатність виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної і (чи) конструкторської (проектної) документації;

5) граничний стан – стан об'єкта, за якого його подальша експлуатація недопустима або недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе або недоцільне.

Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції під час та після зберігання і транспортування.

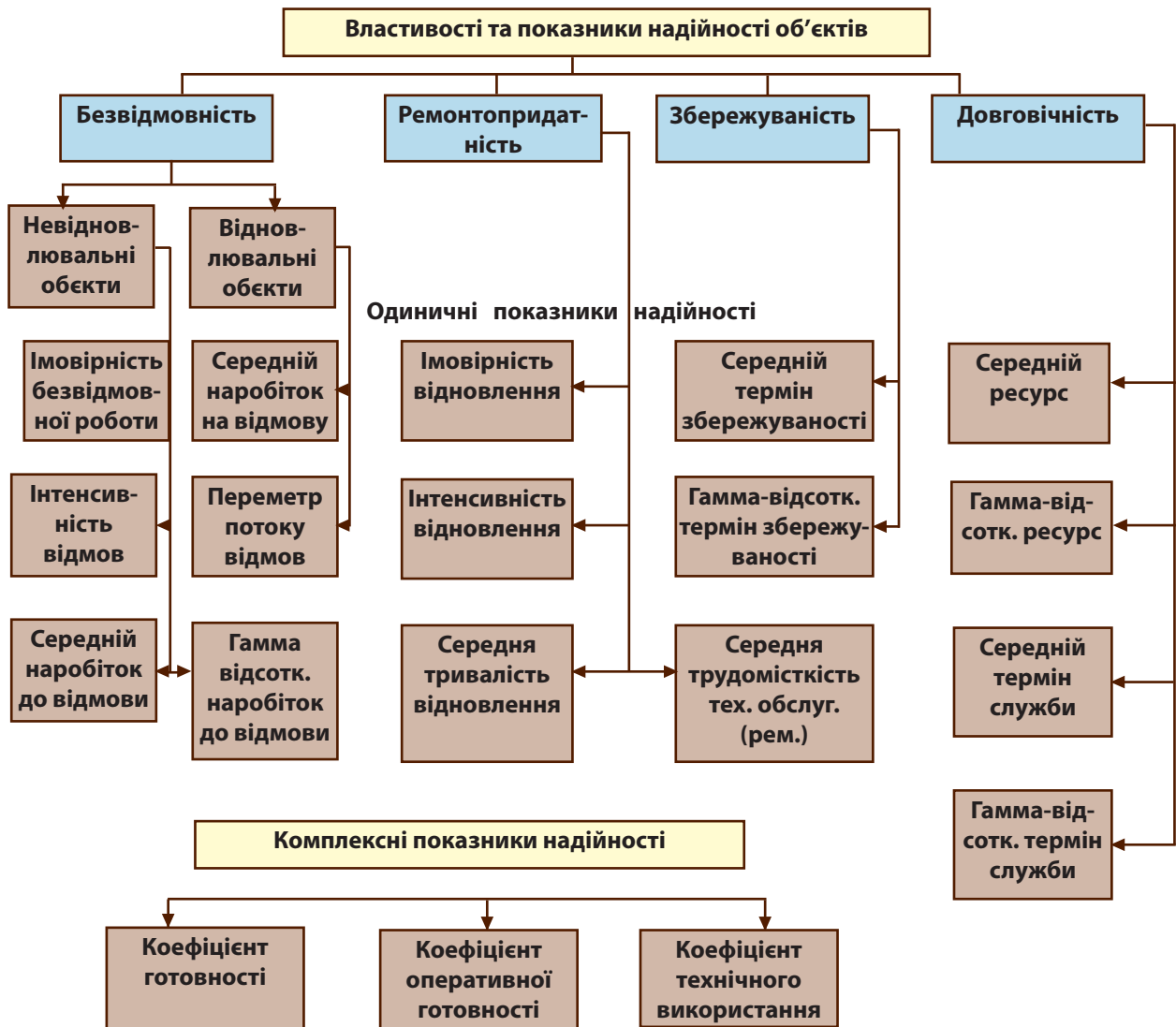


Рис. 1.60. Властивості та показники надійності об'єктів

Для опису різних пошкоджень об'єктів використовують наступні терміни.

Дефект – кожна невідповідність властивостей об'єкта встановленим вимогам.

Ушкодження – подія, що полягає в порушенні

справного стану об'єкта за збереження працездатного стану.

Відмова – подія, що полягає в порушенні працездатного стану об'єкта.

Розрізняють наступні типи відмов:



Рис. 1.61. Класифікація відмов

Розрізняють наступні типи відмов:

- ресурсна відмова, в результаті якої об'єкт досягає граничного стану;
- незалежна відмова, що не обумовлюється іншими відмовами;
- залежна відмова;
- раптова відмова;
- поступова відмова;
- збій – відмова, що самоусувається, або одноразова відмова, що усувається незначним втручанням оператора;
- явна відмова (виявляється візуально);
- прихована відмова;
- конструктивна відмова;
- виробнича відмова;
- експлуатаційна відмова.

Часові поняття, що використовуються в теорії надійності:

1. Напрацювання – тривалість або обсяг роботи об'єкта. Напрацювання може бути як безперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометраж пробігу та ін.), так і дискретною (кількість робочих циклів, запусків).

2. Напрацювання до відмови – напрацювання

об'єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови.

3. Напрацювання між відмовами – напрацювання об'єкта від закінчення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

4. Час відновлення – тривалість відновлення працездатного стану об'єкта.

5. Ресурс – сукупне напрацювання об'єкта від початку його експлуатації або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.



Розрізняють наступні основні показники надійності:

Одиничний – характеризує одну з властивостей, що складають надійність об'єкта.

Комплексний – характеризує декілька властивостей, які становлять надійність об'єкта.

Розрахунковий – значення якого визначаються розрахунковим методом

Експериментальний – точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними випробувань.

Експлуатаційний – точкова або інтервальна оцінка якого визначається за даними експлуатації.

6. Термін служби – календарна тривалість експлуатації від початку експлуатації об'єкта або відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

7. Показник надійності – кількісна характеристика одного або декількох властивостей, що становлять надійність об'єкта.

Надійність є комплексним показником якості машин, оскільки в нього входять довговічність, збережуваність і ремонтпридатність. Ремонтпридатність – показник тимчасовий. У технічно розвинених країнах він відсутній, оскільки машини, які відпрацювали свій паспортний ресурс, відправляють на металобрухт.

Комплексним показником надійності є коефіцієнти готовності і технічного використання.

Коефіцієнт готовності – вірогідність того, що машина буде працездатна в довільний момент часу в проміжках між плановими ремонтами, окрім планованих періодів, в перебігу яких застосування машини не передбачається.

У сталому режимі експлуатації коефіцієнт готовності:

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_B} \quad (1.1)$$

Коефіцієнт технічного використання – відношення інтервалів часу перебування машини в працездатному стані на деякий період експлуатації до суми інтервалів часу перебування машини в робочому стані, простоїв, обумовлених технічним обслуговуванням і ремонтів за той же період експлуатації.

$$K_{TI} = \frac{T}{T_{\text{сум}} + T_{\text{рем}} + T_{\text{обс}}}, \quad (1.2)$$

де: $T_{\text{сум}}$ – сумарне напрацювання всіх однакових об'єктів, експлуатованих в заданий період;

$T_{\text{рем}}$ – сумарний час непрацювання машини у зв'язку з плановими ремонтами;

$T_{\text{обс}}$ – сумарний час непрацювання машини у зв'язку з плановим і неплановим технічним обслуговуванням.

Вірогідність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \frac{N - n'}{N}; P(t) = \frac{n}{N} \quad (1.3)$$

де n' – число машин, які вийшли з ладу;

n – число машин, які безвідмовно пропрацювали до моменту часу;

N – число випробованих машин.

Для машин, які за системою ППР підлягають капітальним ремонтам, велике значення має комплексний показник рівня ремонтпридатності.

Під час аналізу надійності розраховується також решта характеристик експлуатаційної надійності.

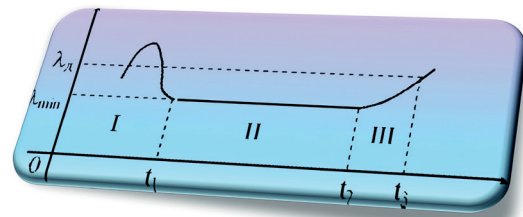


Рис. 1.62. "Крива життя" пристрою

Для обґрунтованої оцінки надійності технічних пристроїв важливо правильно розуміти природу та суть відмов. Під час експлуатації розрізняють три типи відмов: відмови припрацювання, раптові та відмови внаслідок зносу. Вони відрізняються фізичною природою, способами попередження та усунення і виявляються в різні періоди експлуатації технічних пристроїв.



Відмови зручно характеризувати "**кривою життя**" пристрою, яка ілюструє залежність інтенсивності відмов λ , що виникають в ньому, від часу t . Така ідеалізована крива для машин наведена на рис. 1.62. Вона характеризується трьома періодами: припрацювання – I, нормальної експлуатації – II, зносу – III.

1.4.2. Фактори, що впливають на надійність устаткування

У житті машини можна виділити три основних періоди: проєктування, виготовлення та експлуатації. Кожен із цих періодів впливає на надійність, яка проявляється лише на останній стадії.

Реальні деталі мають складну форму, яка впливає на розподіл механічних навантажень. Тому при розрахунках форму деталей спрощують. А це також веде до зниження точності розрахунків.

З викладеного можна зробити висновок, що дійсні механічні напруження практично неможливо пе-

редбачити, що впливає на надійність виробу. Зважаючи на викладене, треба пам'ятати, що збільшення коефіцієнтів запасу міцності не завжди призводить до зменшення напружень, особливо у випадках динамічного навантаження (пуск, гальмування), оскільки за зростання розмірів зростають і маси рухомих деталей. Крім того, збільшення розмірів деталей призводить до збільшення їх вартості та масштабно-го фактору.

1.4.3. Підхід до проєктування і конструювання з позицій теротехнології

Велике значення під час проєктування машини має вибір матеріалу деталей. Загалом, міцніші матеріали менш пластичні, в цих матеріалах більше виникає тріщин, особливо за циклічних та ударних навантажень. В той же час ці матеріали добре витримують контактні навантаження під час статичних навантажень, зносостійкі. Матеріали з меншою міцністю практично мають протилежні властивості, тому використовуються в інших випадках. Але в практиці виникає потреба забезпечувати достатню міцність і здатність витримувати змінні навантаження. В цих випадках використовують спеціальне термічне або інше оброблення. Останнім часом широко використовують композитні матеріали, властивості яких можна забезпечити під час їх виготовлення. Такими є матеріали на основі високоміцних волокон.

Під час проєктування машин та механізмів слід враховувати вплив різних конструктивних факторів, таких як проточки, галтелі, отвори, тобто таких конструктивних елементів, які зумовлюють зміну форми деталі в межах невеликого обсягу. В таких місцях виникає нерівномірний розподіл механічних напружень, який у техніці враховують коефіцієнтом концентрації напружень. На значення коефіцієнта впливає не тільки зміна форми, а й зміна характеру навантаження. Так, при посадках втулок із натягом між втулкою та валом виникають нормальні напруження. Вони мають місце між валом та втулкою, але їх немає за межами втулки. Тобто на межі втулки буде мати місце різка зміна навантаження. Це і призведе до появи концентрації напружень. Водночас, для деталей машин, які працюють в умовах динамічного навантаження, фіксація взаємного розташування де-

талей без посадок із натягом майже неможлива.

З метою попередження поломок деталей машин та механізмів на етапі проєктування в машинах передбачають запобіжні пристрої. Пристрої можуть мати руйнівний елемент. Запас міцності цих елементів близький до одиниці. Внаслідок перевантаження ці деталі першими виходять із ладу і тим самим не дають можливості перевантажитись іншим деталям. Запобіжні деталі роблять якомога простішими за формою та з не дуже дорогого матеріалу. До таких деталей слід віднести втулки, стакани, зрізні болти, муфти, шпинделі тощо. В електричних схемах приводів передбачають тепловий та максимальний захист, які захищають двигун від перевантаження та перегрівання.

Кожне з перерахованих явищ не детерміноване, воно випадкове. Тому на надійність обладнання впливає велика кількість випадкових факторів, які треба враховувати на стадіях проєктування, виготовлення та експлуатації машин та механізмів.



Будь-яке промислове устаткування є системою окремих елементів, надійність яких вивчається окремо.

1. Напрацювання, яке характеризує надійність об'єкта, є випадковою величиною, тобто величиною, яка приймає різні значення в результаті дослідів.

2. Випадкові величини можуть бути безперервними або дискретними. Особливістю безперервних випадкових величин є те, що імовірність будь-якого окремого значення рівна нулю, а дискретні випадкові величини в результаті дослідів приймають

значення, яке має певну імовірність.

3. Для оцінки імовірності безвідмовної роботи машини або будь-якого її елемента потрібно повернутись до класифікації її відмови як випадкової події, так як відмови елементів машин утворюють певну групу подій, тобто подій, з яких одна в результаті дослідів відбудеться обов'язково.

4. Декілька подій називають несумісними, якщо ніякі з них не можуть з'явитися одночасно.

Всі несумісні події утворюють повну групу.

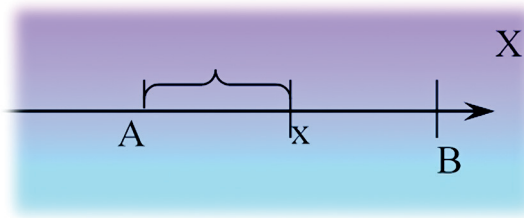


Рис. 1.63. Визначення інтервалу імовірності

Якщо випадкова величина X може приймати будь-яке значення в деякому інтервалі $[A, B]$, то для кожного $x \in [A, B]$ існує певна імовірність $P(X)$ того, що X прийме значення, яке не перебільшує x , тобто

$$p(x) = P\{X \leq x\} \quad (1.4)$$

Величина $f(x) = \frac{dp(x)}{dx}$

називається щільністю розподілу, або щільністю імовірності випадкової величини X .

$$\text{При цьому } p(x) = \int_0^x f(x) dx$$

Функція $f(x)$ має наступні властивості:

1 – $f(x)$ – позитивна функція

$$2 - \int_A^B f(x) dx = 1$$

Залежно від виду функції щільності імовірності розділяють різні розподіли випадкових величин: рівномірне, трикутне, експоненційне, нормальне, гама, логарифмічно нормальне, Вейбула, Ст'юдента, X^2 (X^2 - квадрат) та інші.

Основними числовими характеристиками розподілів безперервних випадкових величин, які використовуються в теорії надійності, є:

Математичне очікування $M(X)$

$$M(X) = \int_A^B x f(x) dx \quad (1.5)$$

Дисперсія $D(x)$

$$D(x) = M[X - M(x)]^2 = \int_A^B x^2 f(x) dx - M^2(x) \quad (1.6)$$

Середньоквадратичне відхилення $\sigma(x)$, яке визначається $\sigma(x) = \sqrt{D(x)}$ (1.7)

$$\text{Коефіцієнт варіації } \mathcal{V}(X) = \frac{\sigma(x)}{M(x)} \quad (1.8)$$

1.4.4. Надійність елемента, який працює до першої відмови

Модель надійності. В момент $t=0$ елемент починає роботу, а в момент $t=\tau$ починається відмова.

Величина τ може бути описана з допомогою функції розподілу

$$P(t) = P(\tau < t)$$

яка називається функцією імовірності відмови ($F(t)$)

Функція $F(t)$ – визначає імовірність відмови елемента до моменту t , тобто імовірність того, що величина τ прийме значення менше ніж t .

Функція $F(t)$ – безперервна і може бути диференційована.

Поряд з функцією $F(t)$ для оцінювання надійності використовується функція виду

$$Q(t) = 1 - F(t) = P(r > t) \quad (1.9)$$

Ця функція характеризує імовірність без відповідної роботи. Цю функцію іноді називають функцією надійності.

Статистична оцінка імовірності безвідмовної роботи в межах напрацювання елемента від 0 до t , яка визначається згідно з даними випробувань, має наступний вид

$$Q^*(t) = \frac{n(t)}{N} \quad (1.10)$$

Статистична оцінка щільності розподілу

$$f(t) = \frac{[n(t) - n(t - \Delta t)]}{N\Delta t} \quad (1.11)$$

Графіки функцій $F(t)$ і $p(t)$

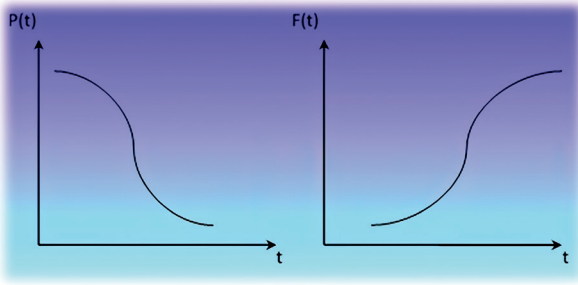


Рис. 1.64. Графіки статистичної оцінки щільності розподілу

У більшості випадків на практиці нема потреби характеризувати випадкову величину повністю. Достить буде визначити тільки окремі числові характеристики.

Найважливішою є середнє напрацювання на відмову, яке визначається як математичне очікування величини τ :

$$T_l = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (1.12)$$

Статистична оцінка T_l може бути виконана за наступною формулою:

$$T_l^* = \sum_{i=1}^N \tau_i / N \quad (1.13)$$

Другою важливою характеристикою надійності виробів, які не демонтуються, є інтенсивність відмов.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)} \quad (1.14)$$

Статистична оцінка інтенсивність відмов

$$\lambda^*(t) = \Delta n / [\Delta t \cdot n(t)] \quad (1.15)$$

При випробуванні групи однотипних має місце закономірність зміни $\lambda(t)$

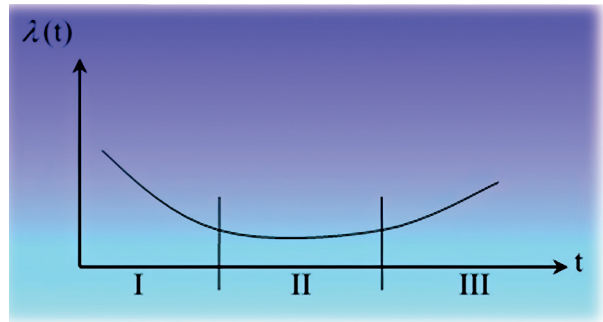


Рис. 1.65. Статистична оцінка імовірності відмов

Між основними параметрами надійності

- щільність імовірності відмов $f(t)$;
 - імовірність безвідмовної роботи $p(t)$;
 - інтенсивність відмов $\lambda(t)$;
 - напрацювання до першої відмови (напрацювання на відмову) T_{cp} ;
 - математичне очікування тривалості відновлення працездатності T_s ;
 - коефіцієнт готовності k_2
- існують наступні математичні залежності:

$$p(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - \int_0^t f(t) dt = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (1.16)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(t) dt} \quad (1.17)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt \quad (1.18)$$

$$k_2 = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_s} \quad (1.19)$$

У теорії надійності в більшості практичних випадків зустрічаються наступні функції щільності імовірності відмов:

$$E f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\lambda = \text{const}) \quad (1.20)$$

$$N f(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}} \quad (T \text{ і } \sigma = \text{const}) \quad (1.21)$$

$$W f(t) = \frac{m}{T} \left(\frac{t}{T}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^m} \quad (T; m = \text{const}) \quad (1.22)$$

$$\Gamma f(t) = \lambda \frac{(\lambda t)^{m-1}}{\Gamma(m)} e^{-\lambda t} \quad (\lambda \text{ і } m = \text{const}) \quad (1.23)$$

1.4.5. Методика обробки даних статистичних спостережень про надійність

Визначення показників надійності пов'язане з рішенням двох головних задач математичної статистики – оцінка невідомих параметрів вибірки (множина випадкових даних про напрацювання на відмову) та перевірки статистичних гіпотез відносно законів розподілу ймовірності значень напрацювання на відмову.

Обробка результатів дослідження надійності дозволяє вирахувати числові характеристики емпіричного розподілу (вибірки) ймовірності значень напрацювання на відмову, які називаються статистичними оцінками (емпіричними або вибірковими характеристиками), які аналогічні числовим характеристикам ВВ (випадкової величини – величини напрацювання на відмову): математичне очікування, дисперсія, початкові та центральні моменти різних порядків. Кожній числовій характеристиці ВВ відповідає її статистична аналогія.

Математичним очікуванням m_x , випадкової величини X є його статистична оцінка $\tilde{m}_x$, яка є середнім арифметичним (статистичним середнім)

значенням отриманих в результаті випробовувань реалізації ВВ:

$$\tilde{m}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1.24)$$

де n – число реалізації (об'єм вибірки) випадкової величини;

x_i – i -а реалізація (значення) випадкової величини X .

За необмеженого збільшення n статистичне середнє наближується (зводиться за вірогідністю) до математичного очікування. Зі збільшенням об'єму вибірки n зростає довірна вірогідність (надійність) y статистичного середнього та знижується величина відносної помилки δ .

**Основи надійності
літальних апаратів**



1.4.6. Отримання інформації про надійність обладнання

Метою збирання інформації про надійність обладнання є: отримання статичних даних, необхідних для визначення кількісних значень показників надійності; встановлення статистичних закономірностей відмов; визначення законів розподілення випадкових значень часу безвідмовної роботи, відновлення ресурсів щодо капітального ремонту; виявлення елементів, що визначають вплив на рівень надійності будь-яких гірничо-металургійних машин та систем обладнання в цілому; вивчення впливу умов та особливостей експлуатації машин на рівень їх надійності.

На основі таких даних можуть прийматися перевірені рішення щодо підвищення надійності машин, комплексів, агрегатів та інших об'єктів промислового обладнання на стадіях проектування, виготовлення та щодо підтримки необхідного рівня їх надійності в процесі експлуатації.

Для отримання інформації щодо експлуатаційних властивостей використовують результати спеціальних досліджень та документацій. Джерелом отримання досить повної інформації про надійність обладнання та його елементів є Журнал

спостережень за роботою обладнання, форма та вказівки щодо ведення якого розроблені в галузевих нормативних матеріалах.

Такий журнал заповнюється силами обслуговуючого техніку персоналу, і є джерелом отримання систематичної інформації про надійність основних елементів серійного обладнання.

Для визначення показників елементів надійності, ліквідацій відмов, які виникли внаслідок простоїв обладнання, можуть бути використані також журнал реєстрації відмов, що ведеться механіком або диспетчерами виробництва.

Найбільш повну та різносторонню інформацію дають спеціальні хронометражні спостереження, перевагами яких є безперервність та цільова спрямованість. Тривалість спостережень залежить як від величини параметрів відмов обладнання (зі зменшенням якої вона має зростати), так і від мети спостереження – потрібно визначити або наскільки достовірно середнє значення показників надійності, або встановити закон розподілу випадкових величин, які використовуються для оцінки надійності.

Під час проведення певних випробовувань з метою оперативного отримання кількісних значень показників надійності та параметрів розподілу ВВ виникає потреба мати справу із вибіркою об'єктів з-поміж генеральної сукупності – з усією сукупністю однорідних об'єктів обладнання або з вибірковими сукупностями реалізації випадкових величин, які використовують для оцінки надійності.

Внаслідок цього, величина показників надійності, визначена на основі вибіркової сукупності, лише з деякою вірогідністю кількісно представляє ці показники для генеральної сукупності об'єктів. Тому при плануванні обсягу певних випробовувань задаються показники, що кількісно характеризують достовірність результатів (достовірна вирогідність) та їх точність (зазвичай межа помилки).

1.4.7. Елементи теорії ймовірності. Закони розподілення напрацювання до відмов

Час безвідмовної роботи – випадкова величина. Найбільш повною її характеристикою є закон розподілу. В теорії надійності використовується низка законів: Вейбулла-Гнеденко, експоненціальний, Релея, Пуассона, нормальний, рівномірний та ін.

Розподіл Вейбулла-Гнеденко використовується зазвичай для опису показників надійності напівпровідникових приладів, мікросхем і РЕП. Для цього розподілу ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі $0 - t$

$$P(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{c} \right)^b \right], \quad (1.25)$$

де $b \geq 0$ (t_1, t_2) – параметр форми закону розподілу, який залежить від кількості відмов виробу;

$c \geq 0$ – параметр масштабу.

Щільність ймовірності відмов (рис.1.66, а) дорівнює

$$f(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c} \right)^{b-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{t}{c} \right)^b \right], \quad (1.26)$$

середнє напрацювання до відмови

$$T_{\text{сер}} = M_t = c \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right); \quad (1.27)$$

де $\Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right) = \int_0^{\infty} x^{\frac{1}{b}} \cdot \exp(-x) dx$

табульована повна гамма-функція.

Дисперсія середнього напрацювання до відмови при цьому складає

$$\sigma_t^2 = \frac{c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{b} \right) - \Gamma \left(1 + \frac{1}{b} \right)^2 \right]}{\frac{2}{\lambda_0^{\frac{b}{b-1}}}}. \quad (1.28)$$

Із формул (1.26) і (1.27)

$$\lambda(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c} \right)^{b-1}. \quad (1.29)$$

Неважко визначити, що за $b > 1$ інтенсивність відмов монотонно зменшується, а за $b < 1$ монотонно збільшується (рис. 1.66, б).

Розподіл Вейбулла за $b = 1$ одержав назву експоненціального розподілу. Його специфічною особливістю є постійність інтенсивності відмов $\lambda(t) = \text{const}$.

Отже, ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t) \quad (1.30)$$

Щільність ймовірності відмов

$$f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t) \quad (1.31)$$

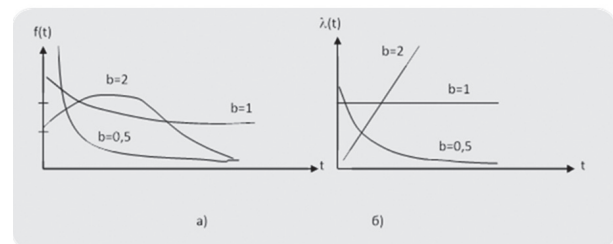


Рис. 1.66. Щільність ймовірності напрацювання до відмови (а) та інтенсивність відмов (б) для розподілу Вейбулла-Гнеденко

Середнє напрацювання до відмови

$$T_{\text{нео}} = 1 / \lambda . \quad (1.32)$$

Підстановка (1.30) в (1.32) дає

$$P(T_{\text{нео}}) = \exp(-1) = 0,386 . \quad (1.33)$$

За експоненціальним розподілом математичне сподівання випадкової величини дорівнює середньому квадратичному відхиленню

$$M(t) = T_{\text{нео}} = \sigma_t = 1 / \lambda . \quad (1.34)$$

Експоненціальний розподіл є типовим для більшості складних РЕП, що складаються з великої кількості різноманітних елементів, що не ремонтуються, які мають переважно раптові відмови. З урахуванням (3.1) і (3.6) γ – % напрацювання до відмови за експоненціальним розподілом

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100} = \exp(-\lambda \cdot t_\gamma) , \quad (1.35)$$

Отже

$$t_\gamma = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) . \quad (1.36)$$

З урахуванням (1.34)

$$t_\gamma = T_{\text{сер}} \cdot \ln\left(\frac{\gamma}{100}\right) . \quad (1.37)$$

Графіки щільності ймовірності відмов $f(t)$ і інтенсивності відмов $\lambda(t)$ для експоненціального закону відповідають графікам для закону Вейбулла-Гнеденко за $b=1$ (рис. 1.67).

Розподіл Релея досить повно описує поведінку РЕП і їх елементів з явно вираженим ефектом старіння і зношеності.

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = \exp\left[-t^2 / c^2\right] \quad (1.38)$$

Щільність ймовірності відмов (рис.1. 67, а)

$$f(t) = \left(\frac{t}{c^2}\right) \exp\left[-\frac{t^2}{2c^2}\right] . \quad (1.39)$$

Інтенсивність відмов (рис. 1.67, б)

$$\lambda(t) = \frac{t}{c^2} . \quad (1.40)$$

Середнє напрацювання до відмови

$$T_{\text{сер}} = c \cdot \sqrt{\frac{\tau}{2}} \approx 1,253 \cdot c . \quad (1.41)$$

Середнє квадратичне відхилення середнього напрацювання до відмови

$$\sigma_t = 0,655 \cdot c . \quad (1.42)$$

Тут – параметр розподілу.

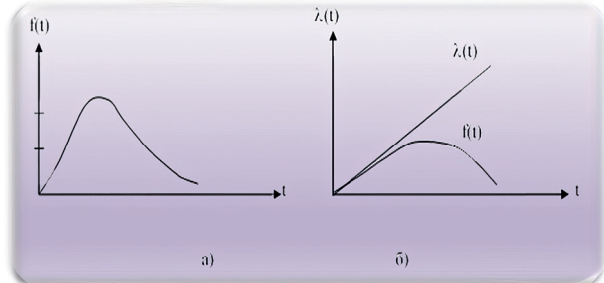


Рис. 1.67. Щільність ймовірності напрацювання на відмову

(а) та інтенсивність відмов (б) для розподілу Релея

Нормальний розподіл описує надійність об'єкта, для якого характерне зношування однорідних елементів, які мають малий розкид параметрів зношуваності.

Щільність ймовірності відмов

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t - T_{\text{сер}})^2}{2\sigma_t^2}\right] . \quad (1.43)$$

За нормального розподілу випадкова величина може мати будь-які значення від $-\infty$ до ∞ . Оскільки можливі значення випадкового напрацювання до відмови можуть бути тільки позитивними, його розподіл слід приймати зрізано нормальним, або звичайним нормальним за $T_{\text{нео}} \gg \sigma_t$

Вже за $T_{\text{нео}} / \sigma_t > 2,5$ від'ємна гілка закону вносить зневажливо малу вагу в загальний результат.

Для зрізано нормального на інтервалі (t_1, t_2) розподілу вводять нормуючий множник, який визначається за умови, що площа під кривою щільності ймовірності розподілу відмов дорівнює 1:

$$C_0 = \frac{1}{\int_{t_1}^{t_2} f(t) dt} . \quad (1.44)$$

При цьому, якщо $0 < t < \infty$, то функція розподілу відмов розраховується за допомогою функції Лапласа (інтеграла ймовірності)

$$L(t_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_0} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt . \quad (1.45)$$

Тоді

$$C_0 = \frac{1}{0,5 + L\left(\frac{M_t}{\sigma_t}\right)}, \quad (1.46)$$

де M_t – математичне сподівання незрізаного розподілу.

Для зрізаного розподілу ймовірність безвідмовної роботи

$$P_{зр}(t) = C_0 \{0,5 - L[(t - M_t)/\sigma_t]\} \quad (1.47)$$

Далі всі параметри, які характеризують зрізаний розподіл, будуть мати індекс “зр”.

Значення функції Лапласа табульовано тільки для додатних аргументів. У випадку від’ємних значень аргументів застосовують правило: $L_c(-x) = -L(x)/$

Диференціальна функція зрізаного розподілу (рис. 1.68, а)

$$f_{зр}(t) = C_0 \cdot f(t). \quad (1.48)$$

Середнє напрацювання на відмову

$$T_{н\dot{a}д.зр} = M_t + \sigma_t \cdot \lambda, \quad (1.49)$$

$$\lambda = (\tilde{N}_0 / \sqrt{2\pi}) \cdot \exp[-M_t^2 / (2\sigma_t^2)] \quad (1.50)$$

Середнє квадратичне відхилення нормального зрізаного розподілу

$$\sigma_{зр} = \sigma_t \sqrt{1 - \lambda^2 M_t / \sigma_t}. \quad (1.51)$$

Інтенсивність відмов нормального зрізаного розподілу (рис. 1.68, б)

$$\lambda_{зр}(t) = \frac{\exp[-(t - M_t)^2 / (2\sigma_t^2)]}{\sqrt{2\pi} \left[0,5 - L\left(\frac{t - M_t}{\sigma_t}\right)\right]}. \quad (1.52)$$

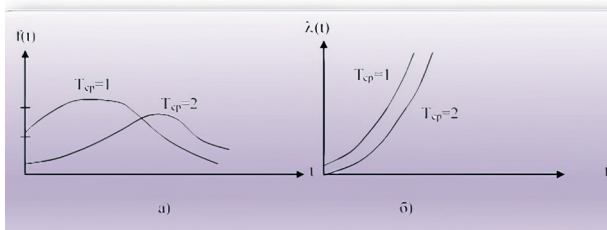


Рис. 1.68. Щільність ймовірності напрацювання до відмови
(а) та інтенсивність відмов
(б) для зрізаного нормального розподілу

Рівномірний розподіл використовується для оцінювання надійності об’єктів щодо повторюваних відмов для деякого інтервалу часу $t_2 > t_1$, в якому щільність розподілу відмов постійна, тобто $f(t)=C$, а за його межами дорівнює нулю.

Ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = 1 - C(t - t_1). \quad (1.53)$$

Розподіл Пуассона (рис. 1.69) описує поведінку дискретних випадкових величин. Випадкова величина k розподілена за законом Пуассона, якщо ймовірність того, що вона прийме деяке значення k , виражається формулою

$$P_k(t) = \left(\frac{m^k}{k!}\right) \exp(-m), \quad (1.54)$$

де m – середня кількість відмов в інтервалі $(0, t)$.

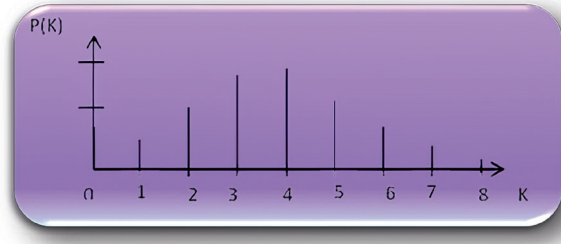


Рис. 1.69. Розподіл Пуассона

Дисперсія випадкової величини t дорівнює її математичному сподіванню $Dt = m$. (1.55)

Інтенсивність відмов дорівнює $\lambda(t) = m/t$ (1.56)

Оскільки функція $P_k(t)$ дискретна, то в неї немає похідних. Практично всі експериментальні спостереження за безвідмовністю роботи технічного об’єкта проводяться в дискретному часі.

Визначення закону розподілу

Для розрахунку показників надійності за статистичними даними необхідно визначити закон розподілу випадкового часу напрацювання на відмову. Для цього вибірку даних N поділяють на L інтервалів за формулою:

$$L = 51gN \quad (1.57)$$

Після цього визначають частоту попадань значень випадкової величини напрацювання на відмову в кожний інтервал

$$f_j = \Delta n_j / N, \quad (1.58)$$

де Δn_j – кількість попадань випадкової величини напрацювання до відмови в j -й інтервал. Довжина інтервалу $\Delta y = (y_{\max} - y_{\min})$, а ймовірність попадання випадкової величини в j -й інтервал $P_j = \tilde{f}_j$

Побудувавши графік частоти попадань $\tilde{f}_j$ у відповідні інтервали, одержимо гістограму, яка є емпіричною щільністю розподілу випадкової величини у вигляді функції дискретного аргументу (рис. 1.70, а). Якщо додати площі гістограм послідовно по кожному з інтервалів, то одержимо емпіричний закон $\tilde{F}(y)$ розподілу випадкової величини y (рис. 1.70, б). Для перевірки відповідності одержаного закону одному з відомих, наприклад, нормальному, використовують критерії Пірсона, Колмогорова та ін.

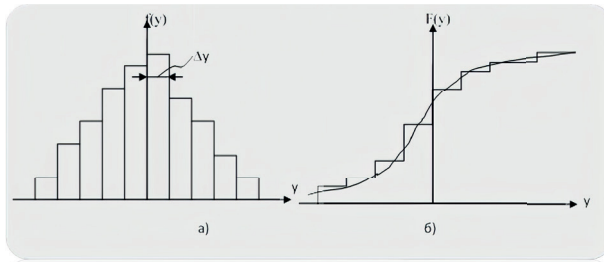


Рис. 1.70. Емпірична щільність ймовірності випадкової величини а) та емпірична функція розподілу б)

Критерій Пірсона застосовують для вибірки від 50 до 100 результатів

Він передбачає використання χ^2 -розподілу. Розподілом χ^2 (хі-квадрат) з K ступенями свободи називається розподіл суми квадратів K незалежних випадкових величин, кожна з яких відповідає центрованому і нормованому нормальному закону. Пірсон довів, що коли як відхилення гіпотетичної функції розподілу від моделі вибрано суму квадратів

$$U = \sum_{i=1}^k c_i \cdot (\tilde{f}_i - f_i)^2 \quad (1.59)$$

з вагами $c_i = n/f_i$, то за великих n закон U не залежить від виду f і кількості дослідів, а залежить тільки від кількості інтервалів k , а саме, наближається до

розподілу χ^2 . Гіпотеза про вид закону розподілу не відкидається, якщо розрахункове значення χ^2 менше табличного χ^2_{θ} , визначеного для заданого рівня значущості.

Критерій Колмогорова (для вибірки більш 100 результатів) як міру розбіжності теоретичного й експериментального розподілів використовує максимальне значення модуля різниці D між експериментальною $\tilde{F}(x)$ і теоретичною $F(x)$ інтегральними функціями розподілу:

$$D = \max |\tilde{F}(x) - F(x)|. \quad (1.60)$$

Колмогоров довів, що якою б не була функція розподілу випадкової величини, за необмеженого зростання числа незалежних спостережень ймовірність нерівності $D\sqrt{n} \geq \theta$ прагне до межі

$$P(\theta) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k \cdot (e^{-2k^2 \cdot \theta^2}). \quad (1.61)$$

В критеріях Пірсона і Колмогорова величину $1 - P(0) = \alpha$ називають рівнем значущості. Якщо розрахованому θ або значенню χ^2_{θ} відповідає рівень значущості $1 - \alpha$, то можна стверджувати, що отримана розбіжність випадкова з ймовірністю $1 - \alpha$. Таким чином, розходження між теоретичною й експериментальною функціями розподілу обумовлені з ймовірністю $1 - \alpha$ не помилковою гіпотезою, а тим, що експериментальна функція розподілу побудована за обмеженою вибіркою випадкової величини. Відповідно, рівень α дорівнює ймовірності того, що розбіжність не випадкова. Це значить, що ми розглядаємо помилкову гіпотезу.

Прийнято вважати, що теоретичний розподіл не суперечить експериментальним даним, якщо $1 - \alpha \geq 0,8$.

На практиці при застосуванні критерію Пірсона розраховують міру відхилення одержаного закону від теоретичного:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{j=1}^L (n_j - NP_j)^2}{NP_j} \quad (1.62)$$

де N – загальна кількість відмов;

n_j – кількість відмов в j -му інтервалі;

L – кількість інтервалів;

P_j – теоретична ймовірність попадання відмов в j -й інтервал;

За повної відповідності емпіричної та теоретичної вибіркової частоти $\chi^2 = 0$.

Для оцінювання відповідності емпіричного розподілу теоретичному необхідно розрахувати фактичне значення χ^2 і порівняти його з табличним значенням за заданого рівня значимості α і відповідної кількості ступенів свободи K , яка визначається за формулою $K = 1 - r - 1$, де r – кількість параметрів теоретичного розподілу.

Наприклад, для побудови теоретичної кривої нормального розподілу достатньо два параметри – математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення, тому $r = 2$, а $K = L - 2 - 1 = L - 3$. Для побудови теоретичної кривої розподілу Пуассона необхідний один параметр λ , тому $r = 1$, а $K = L - 1 - 1 = L - 2$.



Питання для самоконтролю

1. Опишіть типові задачі побудови процесів експлуатації, де використовуються показники експлуатаційних властивостей машин.
2. Дайте визначення основним експлуатаційним показникам машин: надійність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, збережуваність.
3. Дайте визначення показникам надійності: коефіцієнту готовності і коефіцієнту технічного використання.
4. Дайте визначення таким експлуатаційним показникам, як справність, працездатність, відмова, термін служби, ресурс.
5. Дайте визначення таким експлуатаційним показникам машини, як надійність, справність, несправність, працездатність.
6. Що таке елементи системи надійності?
7. Вибір ознак для ряду різних розподілів випадкових величин.
8. Модель надійності.
9. Статистична оцінка імовірності безвідмовної роботи в межах напрацювання.

РОЗДІЛ 2. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ

- 2.1.1. Термінологія, поняття, визначення системи. Положення СТОіР
- 2.1.2. Структура, організація і проведення технічної експлуатації
- 2.1.3. Правила технічної експлуатації (ПТЕ)
- 2.1.4. Підготовка до технічної експлуатації
- 2.1.5. Обов'язки експлуатаційного і ІТП персоналу згідно з ПТЕ, контроль. Роль майстра
- 2.1.6. Агрегатні журнали, їх призначення
- 2.1.7. Формування структури ремонтного циклу

2.1.1. Термінологія, поняття, визначення системи. Положення СТОіР

Відповідно до визначення, даного ДСТУ 9050:2020 «Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять», система технічного обслуговування і ремонту техніки – це сукупність взаємопов'язаних засобів, документації технічного обслуговування і ремонту та виконавців, необхідних для підтримки і відновлення якості виробів, що входять в цю систему.

Під планово-попереджувальною системою технічного обслуговування й ремонту, відповідно до ДСТУ 2690-94, розуміється сукупність взаємозалежних засобів, документації і виконавців, необхідних для підтримки й відновлення якості машин, що входять до системи.

Система заснована на безперервному контролі технічного стану машин, профілактичному характері основних заходів і жорсткому плануванні цих заходів як за часом виконання, так і за обсягом робіт.

Для виконання зазначених робіт планово-попереджувальна система передбачає такі ремонтно-обслуговуючі дії, за допомогою яких забезпечується необхідний технічний стан машини і її

працездатність протягом усього періоду експлуатації [31]: технічне обслуговування (ТО); поточний ремонт (ПР); капітальний ремонт (КР).

ТО машин за умови використання їх за призначенням має на меті створення найсприятливіших умов роботи складових частин (з'єднань, деталей) машин і своєчасне попередження появи несправностей, а за виникнення останніх – усунення їх. Під час ТО проводиться систематичний контроль технічного стану машин і виконання планових робіт для зменшення швидкості зношування елементів, попередження відмов і несправностей.

До планових робіт належать обкатні, мийні, очисні, контрольно-діагностичні, регулювальні, змащувальні, а також роботи з консервації і розконсервації машин і їхніх складових частин.

Системи діагностування технічного стану машин

Технічний стан об'єкта діагнозу визначають за допомогою контрольно-діагностичних засобів. Взаємодія між собою об'єкта діагнозу та контрольно-діагностичних засобів становить систему діагнозу. Ця взаємодія є процесом подавання на об'єкт діагнозу багаторазових дій (вихідних сигналів) і багаторазовою зміною й аналізом відповідей (вихідних сигналів) об'єкта на ці дії. Дії на об'єкт можуть надходити від контрольно-діагностичних засобів або зовнішніх (щодо системи діагнозу) сигналів, які визначаються робочим алгоритмом функціонування об'єкта.

Залежно від способу дії на об'єкт розрізняють системи функціонального і тестового діагнозу.



ТО – комплекс робіт з підтримки працездатності машин під час їх використання, збереження і транспортування. Роботи мають планово-попереджувальний характер і виконуються в обов'язковому порядку протягом усього періоду експлуатації відповідно до вимог експлуатаційної документації заводу-виробника.

У системах функціонального діагнозу дії, що надходять на основні входи об'єкта, задані його робочим алгоритмом функціонування. Ці дії називатимемо робочими.

Системи функціонального діагнозу використовують переважно для перевірки правильного функціонування і пошуку несправностей найвідповідальніших агрегатів, вузлів і систем машин, які порушують нормальне функціонування. Ці системи працюють, коли машина використовується за призначенням. Вони можуть використовуватись і в режимах імітації функціонування об'єкта. У цьому випадку має бути забезпечена імітація робочих процесів. Таке використання систем функціонального діагнозу доцільне під час налагоджування та ремонту об'єкта.

Експлуатація – сукупність усіх фаз існування устаткування з моменту взяття його на балансний облік і до моменту списання, включаючи періоди зберігання, транспортування споживачем, використання за призначенням і всі види технічного обслуговування і ремонту.

Технічне обслуговування – комплекс операцій або операція з підтримки працездатності або справності об'єкта устаткування під час використання за призначенням, зберігання і транспортування.

Ремонт – комплекс операцій з відновлення працездатності об'єкта устаткування (або його складових частин) з частковим або повним відновленням його ресурсу, визначеного нормативно-технічною документацією, у результаті виконання якого передбачається поліпшення стану об'єкта.

Ревізія – комплекс робіт з установлення ступеня зносу об'єкта або його окремих частин з метою визначення потреби проведення технічного обслуговування чи ремонту.

Устаткування – усі види технологічних агрегатів, машин, механізмів та інших об'єктів, що беруть участь у процесі виробництва шляхом виконання тих або інших технологічних функцій.

Агрегат – комплекс машин, механізмів, пристроїв і споруд, пов'язаних єдиним технологічним процесом і призначених для спільної роботи (кульовий млин для подрібнення сировини, випалювальна піч, циклічно-потокова лінія та ін.).

Машина – комплекс механізмів, призначений для виконання корисної роботи, пов'язаної з процесом виробництва, транспортування, перетворення енергії.

Механізм – система кінематично взаємопов'язаних вузлів та деталей, що призначена для перетворення виду руху або для передачі потужності.

Вузол – рознімне або нерознімне з'єднання декількох деталей.

Деталь – виріб, виготовлений як одне ціле і поділ якого на частини неможливий без його пошкодження.

Запасна частина – складова частина об'єкта устаткування, призначена для заміни такої самої частини, що перебуває в експлуатації, з метою підтримки або відновлення справності або необхідного рівня працездатності об'єкта.

Змінне устаткування – вироби спеціального призначення, які використовуються для забезпечення процесу виробництва та здійснюють безпосередній вплив на оброблюваний матеріал і продукти його переробки або застосовуються в процесі перетворення вихідної сировини в напівфабрикат або готову продукцію.

Система технічного обслуговування – сукупність організаційних, технічних та інших заходів, необхідних для підтримки працездатності устаткування під час використання за призначенням, зберігання і транспортування.

Періодичність технічного обслуговування – інтервал часу або накопичення показника продуктивності устаткування (пробіг транспортних засобів, кількість видобутої (переробленої) сировини та інше) між проведенням і подальшим технічним обслуговуванням.

2.1.2. Структура, організація і проведення технічної експлуатації

Основою діяльності кожного підприємства є виробничий процес, який згідно з ДСТУ 2960-94 є сукупністю всіх його працівників і знарядь виробництва, які потрібні цьому підприємству для виготовлення виробів.

Аналіз виробничих процесів на підприємствах показує, що вони складаються з певної множини

впорядкованих технологічних процесів, операцій, прийомів, елементарних рухів виконавців або простих траєкторій знарядь виробництва. Ідеї та властивості, закладені конструкторами й машинобудівниками, реалізуються й проявляються на стадії експлуатації.

Під **експлуатацією** виробничого устаткування (ДСТУ 9050:2020) розуміють сукупність підготовки та використання машин за призначенням, технічного обслуговування, ремонту, збереження та транспортування. При цьому до видів підготовчих робіт входять монтаж чи демонтаж устаткування та його наладка.

Зберігання – комплекс заходів щодо захисту від руйнівного впливу зовнішнього середовища й розукomплектовування.

Ревізія – комплекс робіт із установлення ступеня зношування виробу для визначення необхідно-го обсягу ремонтних робіт.

Складання – комплекс робіт з відтворення виробу зі складових частин.

Монтаж – вид складальних операцій, виконуваних з використанням вантажопідйомних машин для установки виробу на місце.

Налагодження – приведення фактичних відхилень режимів роботи у відповідність до нормативних.

Розбирання – розчленовування виробу на складові частини.

Технічне обслуговування – комплекс операцій щодо підтримки працездатності або справності виробу. ДСТУ EN 13306:2019 Технічне обслуговування. Термінологія технічного обслуговування (EN 13306:2017, IDT). Може включати: мийку, контроль технічного стану, очищення, змазування, кріплення нарізних сполучень, заміну складових частин, регулювання. Відповідно розрізняють ТО під час ви-

користання, збереження, транспортування.

Ремонт (ДСТУ 9050:2020) включає комплекс робіт для підтримки і відновлення справності чи працездатності машини.

Якщо ремонт відбувається в процесі експлуатації машини з гарантуванням її працездатності і включає роботи по заміні і відновленню її окремих частин та їх регулюванню, то такий ремонт називається поточним.

Ремонт, який здійснюється з метою відновлення справності і повного, або близького до повного, відновлення ресурсу машини і включає роботи з повного розбирання машини і відновлення будь-яких її частин, включаючи і базові, складання, регулювання окремих вузлів і машини в цілому, називається капітальним.

Матеріальна база ремонтного обслуговування: обладнання, пристрої, службові приміщення, кадри, матеріальне забезпечення, планування, керування, службова документація.

Технологічні процеси розбирання, відновлення, складання машини, в свою чергу, можуть бути розділені на окремі технологічні операції

**Експлуатація
та обслуговування
машин**

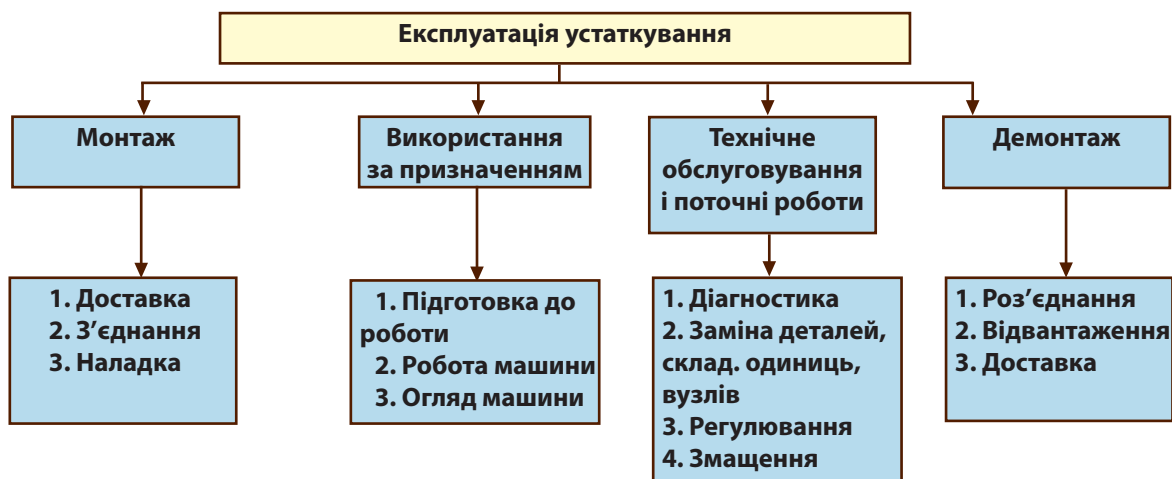


Рис. 2.1. Ієрархія процесу експлуатації промислового устаткування

2.1.3. Правила технічної експлуатації (ПТЕ)

На технічний стан обладнання, підтримку належної працездатності і високу продуктивність впливає правильна експлуатація у встановлених режимах.



До заходів, які забезпечують правильність експлуатації обладнання, відносять:

- ◆ забезпечення нормальних зовнішніх умов роботи обладнання (температура, вологість, чистота повітря);
- ◆ підтримку технологічного обладнання в чистоті;
- ◆ забезпечення належного стану робочого місця (підтримка вільних проходів до технологічного обладнання, збереження інструментів, заготовок, інвентарю в належному стані та чистоті);
- ◆ своєчасне змазування якісними мастилами механізмів апарату (обладнання) або машини відповідно до вимог в паспорті та інструкції з експлуатації для цього обладнання;
- ◆ дотримання допустимих режимів роботи механізмів та машин (знакозмінних та швидкісних навантажень);
- ◆ виконання правил керування обладнанням, механізмом або машиною;
- ◆ виконання передбачених системою ППР правил міжремонтного обслуговування.

Нагляд за технічним станом обладнання на підприємстві проводить відділ головного механіка, який здійснює інспекцію в період експлуатації та контролює графік проведення робіт згідно з ППР. Від знань та якості виконання правил експлуатації обладнання основними робітниками та ремонтниками залежить технічний стан обладнання та збереження ним експлуатаційних властивостей. Ці правила повинні бути добре відомі майстрам механічної служби та механікам, в обов'язки яких входить забезпечення дотримання цих правил виробничим персоналом.

Умови експлуатації – сукупність факторів, що діють на виріб в процесі експлуатації і впливають на функціонування й працездатність цього виробу. Відповідно до діапазону й ступеня впливу факторів умови експлуатації поділяються на нормальні, робочі і граничні.

Нормальні умови (НУ) експлуатації – сукупність факторів, що встановлені нормативно-технічною документацією як номінальні; у таких умовах похибки обладнання близькі до нормативних, що можуть бути визначені й гарантуватися. Ці умови є базою, відносно якої виявляються зміни властивостей виробу в інших умовах.

Базові нормальні умови експлуатації:

- температура – $+25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- атмосферний тиск – 750 ± 30 мм рт. ст.;
- відносна вологість – $65 \pm 15\%$.

Нормальними умовами експлуатації вважаються:

- температура навколишнього повітря – $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – від 45 до 75%;
- атмосферний тиск – від 86 до 106 кПа (від 630 до 800 мм рт.ст.).

Номінальні значення нормальних умов при повірці вимірювальних приладів за ДСТУ ГОСТ 24907:2009 Лічильники механічні та електромеханічні. Загальні технічні умови:

- температура навколишнього повітря – $+20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $65 \pm 15\%$;
- атмосферний тиск – 100 ± 4 кПа (750 ± 30 мм рт. ст.).

Допускаються відхилення від номінальних значень, якщо похибка засобу вимірювання збільшена не більше, ніж на 35% від границі допустимої основної похибки.

За нормальні значення кліматичних факторів навколишнього середовища під час випробувань виробів (нормальні кліматичні умови випробувань) приймають наступні ДСТУ EN 60529:2018:

- температура – $+25 \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- відносна вологість повітря – 45 – 80%;
- атмосферний тиск – 84,0 – 106,7 кПа (630–800 мм рт. ст.); якщо в стандартах на окремі групи виробів не прийнято інших меж, обумовлених специфікою виробу.

Робочі умови експлуатації – сукупність факторів, межі яких нормують (регламентують, гарантують) характеристики показників якості виробів, зазначених у технічних умовах та іншій технічній документації [5].

Граничні умови експлуатації характеризують екстремальні значення факторів, за яких вироби витримують навантаження без руйнування й погіршення якості [5].

Під поняттям «загальні технічні умови» маються на увазі вказівки, які містяться в нормативах з виконання певних процедур. Тобто завдяки цьому документу можна встановити, наскільки дотримані нормативи.



Технічні умови на продукцію (ТУ)

– це частина комплексу технічної документації. Їх мета – регламентація процесу виробництва і використання продукції.

Технічні умови містять обов'язкові вимоги і процедури щодо перевірки їх дотримання.

Розробка технічних умов

ТУ можуть бути не обов'язковим документом. Вони розробляються за бажанням виробника товару або на вимогу покупця (замовника). Проте законодавчо прописана обов'язкова їх наявність для пристроїв, які застосовуватимуться на високонебезпечних виробничих об'єктах, і для продукції, що виготовляється не за нормативним актом, або ж якщо такий акт просто не існує.

Розробка ТУ може бути здійснена або самим виробником, або в спеціалізованих НДІ або органах сертифікації. Крім того, техумови можна просто придбати у утримувача їх оригіналу.

Головна умова розробки технічних умов – відповідність чинним нормативним документам. Окрім того, ТУ повинні мати певний зміст. Регламентується воно **стандартом про систему конструкторської документації** (ГОСТ 2.114-2016 «Єдина система конструкторської документації») і **включає наступні розділи:**

- технічні вимоги;

- вимоги щодо безпеки і охорони довкілля;
- методи контролю і правила приймання;
- умови транспортування і зберігання;
- інструктаж з експлуатації;
- гарантії виготовлення.

Необхідно згадати, що цей стандарт не поширюється на розробку і оформлення технічних умов на продукцію харчової промисловості. Для харчової галузі діють Технічні умови на харчову продукцію. Загальні вимоги до розробки і оформлення.

Узгодження і реєстрація ТУ

Після розробки техумов проводять процедуру їх узгодження з приймальною комісією. Для цього організаціям-членам цієї комісії заздалегідь розсилають копії ТУ. Підписання акту про приймання зразка продукції означає, що техумови погоджені. Без участі приймальної комісії погоджувати ТУ можна тільки у разі прямого звернення фірми до замовника.

Отримання технічних умов на цьому не закінчується. Кінцевою процедурою, що наділяє розробника ТУ правом власності, є реєстрація і внесення їх в реєстр. Вона вимагає нанесення на каталожний і титульний листи ТУ відміток і друку реєструючого органу, яким може бути тільки акредитована регіональна організація.

У сучасній практиці розрізняють два види технічних умов – загальні і спеціальні.

Загальні техумови розробляють відразу на декілька виробів, їх групу. Прикладом таких ТУ можуть бути технічні умови на промислову трубопровідну арматуру, електроустановки тощо.

Спеціальні технічні умови розробляють на один конкретний виріб, речовину, матеріал. У них обов'язково повинне міститися детальне обґрунтування їх необхідності. В якості прикладу можна назвати спеціальні техумови на будівництво унікальних виробів, реконструкцію та ін.

2.1.4. Підготовка до технічної експлуатації

Зміна рівня надійності обумовлена зовнішніми і внутрішніми діями на машину.

Практично на машину діють всі віди енергії. Накопичення малих кількісних змін веде до зміни якісного стану машини, до переходу з одного (працездатного) стану в інший (непрацездатний).

Фактично для виникнення відмови необхідно виконання наступних умов :



Є три основні джерела дії :

- енергія навколишнього середовища (включаючи оператора і ремонтника);
- внутрішні джерела енергії (привод);
- потенційна енергія, накопичена в матеріалі деталей машини під час їх виготовлення (внутрішня напруга від литва, зварювання, термообробки, монтажна напруга).

- достатній рівень енергії для виникнення відмови;
- приведення до пошкодження деталі виниклого процесу;
- приведення пошкодження до зміни вихідного параметра;
- перевищення параметром допустимих меж.

Всі процеси дії на машину можна розділити на оборотні (пружна деформація) і необоротні (старіння, корозія, втомні пошкодження). Найвиразніше процеси накопичення необоротних пошкоджень виявляються за втомного руйнування.

Виходячи зі стадій існування машин і причин фізичного старіння, для управління технічним станом машин необхідно використовувати різні методи.

Конструкторські методи

Під час вибору конструктивних рішень необхідно передбачати :

- розробку кінематичної схеми і раціонального компонування основних вузлів;
- застосування прогресивних механізмів (гідравлічних замість зубчатих, гвинтових, важелів, закритих вузлів тертя замість відкритих);
- зменшення впливу динамічних сил і вібрацій, температурної деформації;
- раціональний вид тертя і зношування в сполученнях;
- забезпечення необхідної ремонтпридатності;
- застосування ефективних фільтрів для очищення мастила і рідини;
- пристосованість до діагностування стану.

Матеріали і технологічне поліпшення мають основне значення в управлінні надійністю машин. Що вище здатність матеріалів чинити опір зовнішнім діям, то вище експлуатаційні властивості, то вище терміни служби деталей. Експлуатаційні властивості мають залежати від вигляду і величини експлуатаційних дій. Проте принципи вибору розроблені недостатньо і зводяться до перерахування матеріалів, що більш-менш задовільно зарекомендували себе в роботі. На період проєктування вигляд і величина експлуатаційних навантажень приблизно відображає майбутній фактичний розподіл, тому вибір матеріалів у більшості випадків проводять емпіричним шляхом, часто не оптимальним.

Методи розрахунків деталей з критеріями надійності мають забезпечувати рівностійкість деталей.

У ідеальній машині всі деталі мають виробити свій ресурс одночасно, поки ж вирішується завдання щодо рівностійкості в межах вузлів.

Різноманіття чинників, що викликають старіння, їх взаємозв'язок і нелінійна залежність наразі не дозволяють отримати достатньо суворі вирази параметрів надійності на базі фізичних закономірностей. На практиці використовують напівемпіричні і емпіричні закономірності найважливіших чинників старіння.

Конструктор, ухвалюючи певні рішення під час розробки машини, має враховувати вигляд і величину експлуатаційних дій, тонкощі робочих процесів і особливості експлуатації.

Це дає підставу передбачати поведінку машини і деталей, а отже:

- регламентувати параметри надійності (початковий, граничний стан, термін служби) і умови експлуатації;
- визначити номенклатуру швидкозношувальних деталей;
- розробити вимоги до регулювань, режимів змазування.

Технічні умови на виготовлення і збірку машин мають включати умови забезпечення їх надійності. Надійність регламентується послідовністю технологічних операцій, вживаними методами і режимами обробки, певними характеристиками якості деталей.

Для забезпечення експлуатаційних властивостей металургійних машин, що визначають необхідний рівень надійності, необхідна цілеспрямована дія на всі етапи технологічного процесу (виробництво металу, заготовок і деталей). Надійність готової деталі багато в чому залежить від якості металу, заготовок і поверхневої обробки.

Технологічний процес:

- плавка, литво, умови кристалізації (якість литва);
- обробка металу тиском (розташування волокон);
- механічна обробка (якість поверхневих шарів, хвилястість, шорсткість);
- обробка поверхні (цементация, азотування, вороніння).

Контроль режимів технологічного процесу попереджає появу дефектів і ефективно забезпечує якість деталей і машин. Контроль виготовлених деталей дозволяє лише визначити дефект, а не

усунути його. Що вище вимоги до надійності, то важливіше здійснювати контроль на всіх стадіях технологічного процесу: виробництво металу, виготовлення заготовок, деталей, зборка.

Використовуються при цьому методи дефектоскопії :

- рентгенівський;
- капілярний;
- ультразвуковий;
- звуковий;
- магнітний;
- електромагнітний.

Експлуатаційна інформація про стан деталей і машин є основною для управління надійністю машин.

На етапі експлуатації вирішуються завдання:

- призначення і дотримання раціональних режимів роботи машин;
- досягнення високої якості технічного обслуговування.

Дослідження якості системи ТОiР обладнання ГЗК



Збір і обробка експлуатаційної інформації мають виконуватися технічною інспекцією, що має засоби технічного діагностування, здійснює контроль правильності експлуатації і якості профілактичних робіт.

Відповідно до основних етапів життєвого циклу механізму слід виділити несправності, пов'язані з:

- конструкторськими помилками або помилками під час проектування;
- дефектами виготовлення або ремонту;
- помилками, допущеними під час монтажу;
- результатами експлуатації механізму.

2.1.5. Обов'язки експлуатаційного і ІТП персоналу згідно з ПТЕ, контроль. Роль майстра

Надійна і безпечна робота технологічного обладнання значною мірою залежить від якості підготовки експлуатаційного персоналу і систематичної роботи з ним. Для цього в кожній державі створена мережа освітніх закладів, починаючи з професійно-технічних училищ, закладів фахової передвищої освіти (коледжів), інститутів та університетів, основним завданням яких є підготовка фахівців з експлуатації і ремонту обладнання, організаторів виробництва, здатних постійно та наполегливо займатися прискоренням впровадження всього передового та нового в різних галузях промисловості.

Відповідно до нормативних документів і Правил Держміськтехнагляду інженерно-технічний персонал і робітники, зайняті обслуговуванням і ремонтом технологічного обладнання, повинні мати спеціальну підготовку і здати екзамен з правил технічної експлуатації і техніки безпеки в обсязі виконуваної роботи.



Для підготовки персоналу мають застосовуватися наступні форми обов'язкового навчання і підвищення кваліфікації:

- один раз у рік підвищення кваліфікації експлуатаційного персоналу для вивчення обладнання, оптимальних режимів експлуатації і кращих прийомів роботи;
- індивідуальний виробничий інструктаж з безпечних і раціональних методів роботи на експлуатованому обладнанні, що проводиться не рідше одного разу в три місяці;
- протиаварійні тренування, проведені для відпрацювання (наробітку) навичок і умінь оперативним персоналом самостійно, швидко і правильно орієнтуватися в різних виробничих ситуаціях, що виникають в процесі експлуатації обладнання;
- вивчення Правил Держміськтехнагляду, правил техніки безпеки, посадових і експлуатаційних інструкцій, а також інших керівних документів, що стосуються як основного, так і допоміжного обладнання.



Рис. 2.2. Експлуатаційний персонал під час ремонту деталі прокатний валок «PJSC Energomashspetsstal»

Знання експлуатаційного персоналу перевіряються під час надходження на виробництво чи введення нового обладнання – первинна перевірка; регламентована нормативними документами – періодична і у результаті порушення правил експлуатації чи техніки безпеки – позапланова.

Первинна перевірка знань обслуговуючого і ремонтного персоналу проводиться після виробничого навчання перед переводом на робоче місце в якості стажиста чи дублера до більш досвідченого працівника.

Майстер зміни виробництва належить до професійної групи «фахівці».

Призначення на посаду майстра зміни виробництва та звільнення здійснюється наказом керівника підприємства з дотриманням вимог КЗпП та чинного законодавства про працю. У своїй діяльності майстер зміни керується Конституцією України, законами України, постановами Верховної Ради України, указами і розпорядженнями Президента України, постановами і розпорядженнями Кабінету Міністрів України, статусом підприємства, правилами внутрішнього трудового розпорядку та іншими нормативними актами та посадовою інструкцією. Він підпорядковується безпосередньо начальнику



Майстер зміни повинен знати:

- всі інструкції, що діють на виробництві;
- всі технологічні і нормативні документи;
- розпорядження та інші керівні матеріали, що стосуються виробничо-господарської діяльності цеху;
- технічні вимоги, до продукції, що випускається цехом, технологію її виробництва;
- устаткування ділянки і правила його технічного обслуговування;
- норми і розцінки на роботи, що виконуються ділянкою;
- положення, що діє, про оплату праці;
- правила охорони праці і техніки безпеки;
- основи трудового законодавства.

виробництва.

На посаду майстра зміни виробництва призначається особа з базовою вищою освітою відповідного професійного спрямування за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра і стажем роботи на виробництві не менше 3-х років.

Завдання та обов'язки майстра зміни виробництва:

- ◆ забезпечення керівництва виробничою ділянкою;
- ◆ дотримання технологічного процесу;
- ◆ контроль виконання регламенту роботи цеху;
- ◆ контроль за економним витрачанням сировини;
- ◆ своєчасна підготовка виробничої ділянки до роботи;
- ◆ забезпечення дотримання трудової дисципліни робочими цеху;
- ◆ організація та контроль за дотриманням технологічних процесів, оперативне виявлення і усунення причин їх порушення;
- ◆ забезпечення правильного використання устаткування, рівномірної і продуктивної роботи на ділянках;
- ◆ створення умов для освоєння і виконання норм кожним робітником, здійснення виробничого інструктажу робітників;
- ◆ дотримання санітарно-гігієнічних норм всіма робітниками зміни: перевірка наявності спецодягу, дотримання особистої гігієни та робочого місця в чистоті і порядку;
- ◆ контроль за суворим дотриманням робітниками правил і норм з охорони праці і техніки безпеки;
- ◆ перевірка якості продукції, що випускається, на всіх ділянках процесу виробництва, здійснення заходів щодо попередження браку і підвищення якості продукції, що випускається;
- ◆ надання пропозицій про заохочення робіт-

ників зміни або накладення дисциплінарних, матеріальних стягнень на порушників виробничої, трудової дисципліни, технологічних і санітарно-гігієнічних інструкцій;

- ◆ забезпечення правильності і своєчасного оформлення первинних документів з обліку робочого часу, виробітку, зарплати, простоїв.

Права майстра зміни виробництва:

- ознайомлюватися з проектами рішень керівництва підприємства, що стосуються його діяльності;
- брати участь в обговоренні питань, що стосуються виконання його обов'язків;
- вносити на розгляд керівництва підприємства пропозиції щодо покращення роботи, пов'язаної з обов'язками, що передбачені цією інструкцією;
- у межах своєї компетенції повідомляти керівництву підприємства про всі недоліки, виявлені в процесі його діяльності, та вносити пропозиції щодо їх усунення;
- вимагати від керівництва підприємства сприяння у виконанні ним посадових обов'язків.

Відповідальність майстра зміни виробництва:

- виконання змінного планового завдання;
- випуск якісної продукції, відповідної вимогам ТУ;
- дотримання технології виробництва;
- дотримання правил техніки безпеки;
- дотримання санітарно-гігієнічних норм;
- правильне і своєчасне заповнення первинної документації.

2.1.6. Агрегатні журнали, їх призначення

Агрегатний журнал має бути для усіх видів основного устаткування. Журнал призначений для систематичного накопичення даних про технічний стан і працездатність устаткування і є основним початковим документом, за яким встановлюють характер і обсяг планових ремонтів, а також терміни служби вузлів і деталей. Характеристика дефектів, записаних в агрегатний журнал, має бути короткою, але ясною і достатньою для судження про спосіб усунення дефектів шляхом ремонту деталі на місці або заміни її новою. Відповідальність за зберігання, стан і правильність ведення агрегатних журналів покладається на механіка цеху. Контроль за правильністю заповнення журналів покладається

на відділ головного механіка.

Після закінчення поточного ремонту робиться запис в агрегатному журналі про виконані роботи, замінені деталі і вузли, а також про дефекти деталей і вузлів, виявлені розбирання механізмів, не усунені з якої-небудь причини.

Основним документом, за яким ведеться підготовка до планового або капітального ремонту, є відомість дефектів, що складається на підставі записів в агрегатному журналі і оглядів устаткування. За відомістю дефектів визначається необхідна для проведення ремонту кількість матеріалів, деталей, робочої сили і вартість ремонту.

АГРЕГАТНИЙ ЖУРНАЛ

(найменування юридичної особи, ПІБ фізичної особи-підприємця)

(структурний підрозділ)

(найменування лінії, обладнання тощо)

Почата «__» _____ 20__ р.

Закінчена «__» _____ 20__ р.

Бібліотека «Документів для бізнесу»
Тел. (067) 673-51-59 або www.magazin.org.ua



ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ журнал обладнання

(найменування юридичної особи, ПІБ фізичної особи-підприємця)

(структурний підрозділ)

(найменування лінії, обладнання, інвентарний номер тощо)

Почато «__» _____ 20__ р.

Закінчено «__» _____ 20__ р.

Рис. 2.3. Агрегатний та експлуатаційний журнали обладнання

Високою інтенсивністю процесу відрізняються мартенівські печі і двованні сталеплавильні агрегати, тому об'єктами для дослідження були узяті котли-утилізатори, що стоять за цими печами. Дані про роботу котлів були зібрані з агрегатних журналів і ремонтних відомостей за тривалий період часу – 3 – 4 роки. Зібраний статистичний матеріал про час безвідмовної роботи котлів був зведений в карту статистичного зведення.

Під час збирання пристроїв, що забезпечують ущільнення силікагелю, слід суворо дотримуватися вказівок інструкції. Правильність збирання натискного пристрою перевіряє керівник робіт і результат роботи реєструє в агрегатному журналі.

Особливу увагу під час перевірки труб треба звертати на їх розвальцовані кінці, оскільки зазвичай тут стінки тонші. Про те, які труби перевірені

і який їх стан, обов'язково слід робити відмітку в агрегатному журналі або формулярі. Знос приварних труб (за з'єднання калачами) визначають за записами біля зварювання, виміром внутрішнього і зовнішнього діаметрів і обстукуванням. Ретурбенти зношуються зазвичай в місцях переходу від широкого перерізу до вузького і на поворотах, величину зносу визначають виміром товщини стінки. Так само визначають знос калачів.

Огляди здійснюють цехові ремонтні бригади за участю експлуатаційного персоналу під керівництвом механіка цеху. Огляди проводять в терміни, встановлені згідно з річним графіком ремонтів залежно від умов роботи. Результати записують в агрегатні журнали. Підйомно-транспортне устаткування оглядають не рідше одного разу в 10 днів.

2.1.7. Формування структури ремонтного циклу

Структура ремонтного циклу, тобто періодичність ремонтів у циклі, їхній вид і чергування для різних видів машин можуть бути різними.

Формування структури ремонтного циклу виконується за загальними законами, що пов'язують показники надійності всієї машини з потенційною довговічністю її вузлів і елементів. Для аналізу змісту окремих видів ремонту за даного міжремонтного періоду T_0 розіб'ємо всі елементи, деталі й вузли машини на групи залежно від їхніх термінів служби. До даної n -ої групи будуть відноситись усі ті деталі, ремонт яких призначений через $T_\phi = nT_0$. Таким чином, ремонт деталей 1-ої групи має виконуватися через T_0 годин роботи машини, деталей 2-ої групи – через $2T_0$ годин і т.д. У міру зношування машини потреба в ремонті її вузлів зростає. Для зручності планування ремонтів бажано мати обмежене число найменувань поточних ремонтів (наприклад, малий і середній), що досягається зміною періодичності ремонту окремих груп деталей машин. Це спричинить додаткове недовикористання термінів служби деталей. За наявності ймовірності відмови деталей у міжремонтний період ці ремонтні роботи будуть включені в міжремонтне обслуговування.

На рисунку 2.4. показана схема формування структури ремонтного циклу, де на осі абсцис (час роботи машини) зазначені порядкові номери поточних ремонтів, які здійснюються через рівні проміжки часу T_0 , а на осі ординат (термін служби елементів машини) зазначені відповідні групи деталей або вузлів.

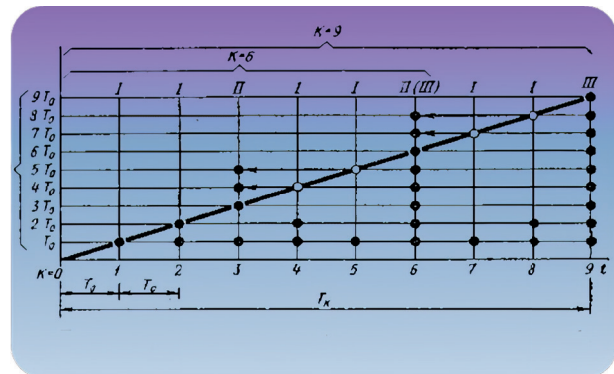


Рис. 2.4. Формування структури ремонтного циклу

Для кожної групи деталей крапкою відзначено, у який ремонт вона має бути включена. У міру зношування машини потреба в ремонті її вузлів зростає. Наприклад, після роботи протягом $t = 2T_0$ год потрібен ремонт деталей тільки 1-ї і 2-ї груп. Через $t = 4T_0$ буде потрібний також ремонт деталей 4-ї групи, маючи на увазі, що деталі 3-ї групи були відремонтовані відповідно під час третього періодичного ремонту.

Це схема показує, що всі види ремонтів будуть неоднакові, тому що включають ремонт різних груп деталей. Наприклад, як це зазначено на схемі, деталі 4-ї і 5-ї груп доцільно ремонтувати з періодичністю $3T_0$. Це, звичайно, спричинить додаткове недовикористання термінів служби цих деталей, однак дозволить зосередити ремонт великої кількості де-

талей під час ремонту № 3 і виконувати його як середній ремонт підвищеної трудомісткості. Якщо під час 6-го ремонту робити капітальний ремонт, тобто прийняти $T_k=6T_0$ і ремонтувати деталі всіх груп, то за такого шестиперіодного ремонтного циклу ($K = 6$) одержимо наступну структуру: I-I-III.

Тут в I (малий) ремонт включаються деталі 1-ї або 1-ї і 2-ї груп, в II (середній) ремонт деталі 1, 3, 4 і 5-ї груп, а в III (капітальний) ремонт включені всі групи.

Якщо прийняти трудомісткість всіх груп приблизно однаковою, то співвідношення обсягів ремонтних робіт буде I:II:III = 1:4:6 (остання цифра умовна й залежить від числа груп деталей).

За призначення $T_k - 9T_0$ одержимо дев'ятиперіодний цикл ($K = 9$) зі структурою: I-I-II-I-I-II-I-I-III.

Із графіка видно, що в циклі, який складається з дев'яти періодів, не зберігається постійним зміст ремонту одного найменування, що є наслідком нерациональної побудови структури циклу. Так, у ремонт I виду в одному випадку входить перша група деталей, в іншому – перша й друга, що, однак, не відображено в нормативах системи. По суті ця структура має п'ять різних видів ремонту.

Тому запропонований шестиперіодний цикл зі структурою I-II-III-II-I-IV, де I і II – перші й другий малі ремонти, III – середній і IV – капітальний, є оптимальним

Така структура циклу забезпечує сталість обсягу й змісту ремонтів одного найменування. За оптимального циклу буде найбільш повна відповідність між нормативами на цей вид ремонту й фактичним обсягом ремонтних робіт. Для обґрунтування доцільності застосування того або іншого циклу необхідно провести розрахунок різних структурних варіантів і встановити, який з них забезпечує за інших рівних умов мінімальну трудомісткість ремонту.

На структуру ремонтного циклу можуть накладати відбиток конструктивні особливості машин, специфічні умови їхнього ремонту й експлуатації, вимоги надійності.

Так, наявність окремих елементів, трудоміст-

кість ремонту яких різко відрізняється від інших деталей, може вплинути на вибір тривалості ремонтного циклу, тому що саме ці елементи будуть визначати необхідність проведення капітального ремонту.

Наприклад, зношування напрямних, зношування стінок циліндра компресорів, корозія корпусів устаткування часто визначають тривалість ремонтного циклу T_k , що за обраного значення міжремонтного періоду T_0 приведе до числа ремонтів у циклі K , не обов'язково рівного $K=6$ і відповідно до іншої структури циклу. Однак установлення доцільної структури й у цьому випадку має виходити із порівняння трудомісткості ремонту для різних варіантів циклу.

Істотно вплинути на структуру циклу можуть вимоги до надійності й безпеки машини.

Якщо вимоги безвідмовності великі, тобто $P(II) \rightarrow 1$, то для забезпечення цього в період між плановими ремонтами необхідно здійснювати комплекс ремонтно-профілактичних і діагностичних заходів, які утворюють свою локальну систему із заходами різної трудомісткості та періодичності.

Прикладом такої структури може служити система ремонту й TE важкого металургійного обладнання. Ремонт проводиться на спеціалізованих підприємствах з вилученням їх зі сфери експлуатації на порівняно тривалий строк. Тут звичайно проводять профілактичний (середній) і капітальний ремонти. Технічне обслуговування виконується безпосередньо в процесі експлуатації й передбачає систему обов'язкових (регламентних) робіт, виконуваних з постійною періодичністю $T_{об}$, але різної трудомісткості. За трудомісткістю, що в галузевому машинобудуванні регламентується формою обслуговування, ці роботи розділяються звичайно на дві категорії P_1 та P_2 . Наприклад, для коксовиштовхувача передбачається період регламентного обслуговування $T_{об} = 50 \text{ год}$ і проводяться наступні форми технічного обслуговування: P_1 – через кожні 50 ± 10 год, P_2 – через 200 ± 20 год.

Як бачимо, тут більш складна структура ремонту й технічного обслуговування, що диктується високими вимогами до надійності виробу.



Питання для самоконтролю

1. Дати визначення експлуатації.
2. Що таке технічне обслуговування?
3. Дати визначення ремонту.
4. Система технічного обслуговування.
5. Описати ієрархію процесу експлуатації промислового устаткування.
6. Нормальні умови (НУ) експлуатації.
7. Дати визначення технологічному процесу.
8. Агрегатний журнал ремонтного циклу.

РОЗДІЛ 2.2. ОРГАНІЗАЦІЯ І ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН І АГРЕГАТІВ

2.2.1. Мета ТО, його забезпечення

2.2.2. Організація технічного обслуговування

2.2.3. Огляди під час технічного обслуговування

2.2.4. Налагодження, регулювання обладнання

2.2.1. Мета ТО, його забезпечення

Метою технічного обслуговування устаткування є підтримання технічно справного його стану, запобігання передчасному зносу устаткування та його складових частин, забезпечення виконання вимог нормативно-правових актів з охорони праці та навколишнього природного середовища. Система ТО устаткування містить у собі сукупність організаційних, технічних та інших заходів, спрямованих на підтримання його в технічно справному стані, забезпечення надійності роботи, виконання вимог охорони праці та навколишнього природного середовища.

Упровадження системи ТО устаткування включає:

1. Розробку та впровадження стратегії організації і проведення ТО.
2. Дотримання вимог, правил і норм ТО та експлуатації устаткування, організацію контролю за їх дотриманням.
3. Організацію систематичного спостереження та контролю технічного стану, параметрів і часу роботи устаткування та його складових частин.
4. Планування і проведення періодичних технічних оглядів устаткування.
5. Визначення складу та строків проведення робіт ТО з урахуванням оброблених даних діагностичних і контрольних-вимірювальних приладів, систематичних спостережень за станом і умовами експлуатації устаткування.

6. Розробку й удосконалення норм ТО устаткування.

7. Організацію виробничої бази для підготовки та проведення ТО, забезпечення її кваліфікованою робочою силою, технічною та нормативною документацією, необхідними діагностичними приладами, інструментами і матеріалами, а також організацію їх обліку та зберігання.

8. Організацію матеріально-технічного забезпечення матеріалами, запасними (зокрема швидкозношувальними) частинами та змінним обладнанням, необхідними для підтримання устаткування у технічно справному стані та забезпечення здатності його до використання за призначенням.

9. Організацію раціонального документообігу.

10. Удосконалення організації та нормування праці робітників, які займаються ТО, нормування витрат матеріальних ресурсів.

11. Організацію обліку й аналізу витрат на ТО устаткування (витрат на оплату праці робітників за виконання робіт, зазначених у додатку 1 до цього Положення та відрахувань на соціальні заходи; вартості матеріалів, запасних частин та деталей, використаних при проведенні ТО; витрат на налагодження, заміну та відновлення (реставрацію) змінного обладнання; вартості послуг допоміжних і інших виробництв, підрядних організацій, які виконують ТО).

2.2.2. Організація технічного обслуговування

«Положення про технічне обслуговування устаткування підприємств гірничо-металургійного комплексу» (Міністерство промислової політики України Положення, Наказ від 04.07.2003 № 281 діє з 02.09.2003) розроблено відповідно до ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» та ДСТУ 9050:2020 «Система технічного обслуговування та ремонту техніки. Терміни та визначення».

Це Положення визначає загальні вимоги, основні принципи, порядок проведення технічного обслуговування (ТО) і перелік робіт, виконуваних під час ТО устаткування гірничо-видобувних, гірничо-збагачувальних, коксохімічних підприємств, підприємств з виробництва окатишів, феросплавів, вогнетривів, ломопереробних, агломераційних, плавильних, прокатних підрозділів, підрозділів виробництва труб, рейкових скріплень, метизних підприємств, балонних підрозділів, підприємств, що виготовляють сировину та напівфабрикати для перелічених підприємств і підрозділів підприємств, і спрямоване на підтримання в технічно справному стані устаткування та забезпечення надійності, економічності, виконання вимог охорони праці і навколишнього природного середовища.

На підприємствах розробляються локальні акти з ТО устаткування (керівництва, інструкції, стандарти, положення тощо), які враховують специфіку виробництва та місцеві умови, з урахуванням вимог цього Положення.

Локальні акти підприємств з питань ТО устаткування мають відповідати нормативно-правовим актам Положення, зокрема з питань охорони праці, та актам нормативно-технічного характеру.

Відповідальними за стан устаткування, організацію ТО устаткування та відповідність локальних актів підприємства з питань ТО вимогам нормативних

актів є керівник або уповноважена ним особа і головні спеціалісти підприємства, а також керівники структурних підрозділів і фахівці в межах їх посадових обов'язків.

Технічне обслуговування устаткування передбачає: перевірку технічного стану, виконання робіт для підтримки його належного зовнішнього вигляду, заправку експлуатаційними рідинами, усунення виявлених несправностей. Прибиральні роботи проводяться за потреби, але обов'язково перед технічним обслуговуванням.

Детальніший список робіт, які відносяться до технічного обслуговування устаткування, складається окремо на кожному підприємстві, зважаючи на специфіку продуктивного і технологічного процесу, і затверджується керівництвом підприємства.

Технічне обслуговування устаткування виконується в планово обов'язковому порядку відповідно до затвердженого графіка технічного обслуговування.

Періодичність і тривалість технічного обслуговування окремих видів устаткування встановлюється цехом, погоджується з головним механіком і затверджується головним інженером підприємства.

Роботи, що проводяться для підтримки устаткування в працездатному стані, мають проводитися відповідно до правил технічної експлуатації устаткування відповідних виробництв.

Устаткування, для якого немає правил технічної експлуатації, обслуговується відповідно до інструкцій з експлуатації, які розробляються підприємством самостійно на підставі паспортів, проектних даних та чинних нормативних документів і затверджуються керівництвом підприємства.

2.2.3. Огляди під час технічного обслуговування

Види оглядів механічного устаткування

За призначенням огляди поділяються на наступні види: експлуатаційний; спеціалізований; експертний (технічний огляд). Види оглядів відрізняються один від одного обсягом обстеження, формою реєстрації й призначенням результатів.

Завданням **експлуатаційного огляду** є виявлення ушкоджень (дефектів) і пошук несправно-

стей устаткування під час проведення технічного обслуговування в строки, регламентовані експлуатаційною документацією, та реєстрація результатів оглядів в експлуатаційній документації. Проводиться експлуатаційним персоналом під час проведення технічного обслуговування.

Спеціалізований огляд проводиться в обсягах, обумовлених документацією з технічного діагностування. Основним завданням є визначен-

ня технічного стану устаткування для планування строків технічного обслуговування, ремонту, пошуку несправностей. Виконується фахівцями ремонтних служб підприємства або спеціалізованих підприємств під час ревізій і налагоджень устаткування.

Технічний (експертний) огляд проводиться представниками уповноважених або спеціалізованих (експертних) організацій. Строк і обсяг огляду визначений нормативно-правовими актами з охорони праці або організаційно-методичними документами щодо проведення експертного обстеження. Завданням є визначення відповідності технічного стану, якості монтажу, ремонту, модернізації й умов експлуатації устаткування вимогам безпеки з метою визначення можливості подальшої експлуатації.

Послідовність огляду

Порядок проведення оглядів устаткування ґрунтується на послідовному обстеженні елементів устаткування по кінематичному ланцюгу їх навантаження, починаючи від привода до виконавчого елемента. Для цього вивчається конструкція устаткування, склад і взаємодія елементів. Огляд починається з опорних елементів устаткування. За виявлення дефектів на опорних деталях варто очікувати їхньої наявності й на інших елементах устаткування.

Технологічні особливості огляду

Процес огляду, як і всі технологічні операції, має три стадії: підготовчу, робочу й завершальну.

Підготовча стадія огляду містить: розробку послідовності огляду; попередній огляд місця установки устаткування; опитування експлуатаційного персоналу, за необхідності представників монтажних, налагоджувальних організацій, що беруть участь у проведенні робіт, про раніше виявлені несправності, проведені заміни деталей; підготовку технічних засобів і реєстраційних форм, інструктаж осіб, що беруть участь у проведенні робіт.

У процесі попереднього огляду фахівець швидко знайомиться з місцем установки устаткування. Під час загального огляду вивчається картина стану устаткування, застосовується під час періодичних оглядів устаткування експлуатаційним персоналом.



Робоча стадія – виконання заздалегідь розробленого алгоритму детального огляду елементів устаткування. Спочатку проводиться загальний зовнішній огляд устаткування й навколишніх об'єктів.

Детальний огляд – огляд конкретних елементів устаткування. Детальному огляду має передувати загальний огляд.

Загальний і детальний огляд може проводитися за статичного та динамічного режиму роботи. За статичного режиму елементи устаткування оглядають в нерухомому стані. Огляд устаткування за динамічного режиму змінюється на робочому навантаженні, холостому ході й тестових навантаженнях (випробуваннях).

Огляд устаткування під час включення або зупинки механізму спрямований в основному на контроль якості затягування нарізних сполучень, відсутності тріщин корпусних деталей, цілісності сполучних елементів. У робочому режимі додатково перевіряють биття валів, муфт, витік мастильного матеріалу, відсутність контакту рухомих і нерухомих деталей. Під час огляду можуть бути застосовані три основні способи: концентричний; ексцентричний; фронтальний.

За **концентричного** способу (рис. 2.5) огляд проводять по спіралі від периферії елемента до його центру, під яким звичайно розуміється умовно обрана точка. За **ексцентричного** способу огляд проводять від центра елемента до його периферії (по спіралі, що розгортається, рис. 2.6). За **фронтального** способу огляд проводять у вигляді лінійного переміщення погляду по площі елемента від однієї його границі до іншої (рис. 2.7).

Під час проведення огляду роблять чорнові записи результатів. Кожний елемент устаткування, що оглядається, повинен мати запис про результати огляду. Фотознімки, замальовки мають бути доповненням до запису. Записи ведуться в послідовності проведення огляду і їхня форма має максимально відповідати формі звітного документа. Замальовки місць ушкоджень виконуються на заздалегідь підготовлених кресленнях і ескізах елементів устаткування.

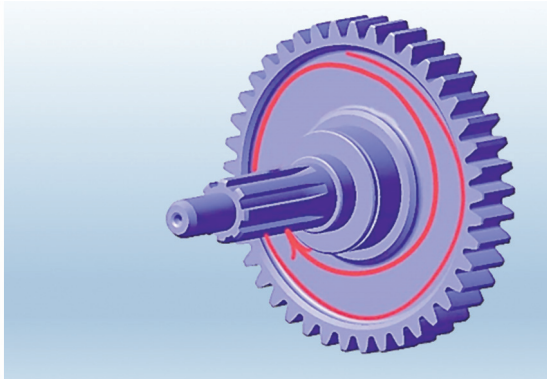


Рис. 2.5. Концентричний спосіб огляду деталі



Рис. 2.6. Ексцентричний спосіб огляду деталі

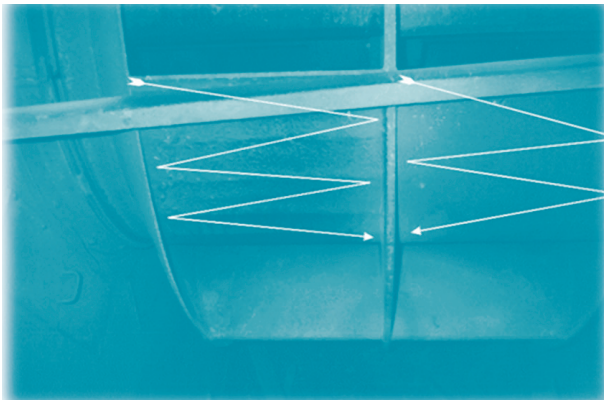


Рис. 2.7. Фронтальний спосіб огляду деталі

Під час проведення огляду роблять чорнові записи результатів. Кожний елемент устаткування, що оглядається, повинен мати запис про резуль-

тати огляду. Фотознімки, замальовки мають бути доповненням до запису. Записи ведуться в послідовності проведення огляду і їхня форма має максимально відповідати формі звітнього документа. Замальовки місць ушкоджень виконуються на заздалегідь підготовлених кресленнях і ескізах елементів устаткування.

За видами зйомки місця події діляться на орієнтувальну, оглядову, вузлову й детальну. Орієнтувальна фотозйомка має зафіксувати загальну картину розташування устаткування на тлі навколишньої місцевості або приміщення. Оглядова фотозйомка безпосередньо фіксує місце проведення огляду більшим планом. Вузлова фотозйомка запам'ятовує окремі «вузли» – важливіші місця устаткування, проводиться з декількох точок, у максимальному масштабі залежно від умов. Детальна фотозйомка застосовується для фіксації окремих виявлених дефектів елементів або деталей устаткування, наприклад, тріщин, вм'ятин, зазорів тощо.

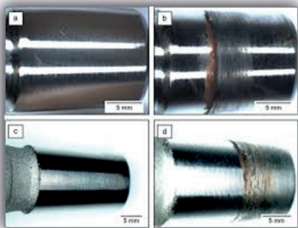
Завершальна стадія полягає в додатковому огляді елементів устаткування з позиції уточнення раніше отриманих результатів і їхньої реєстрації у звітних формах.



Реєстраційні форми – це певний порядок записів результатів опитування, безпосереднього огляду і графічні зображення деталей і об'єкта в цілому: малюнки, ескізи, креслення, фотознімки тощо. На графічних зображеннях мають бути позначені: точка початку огляду і його напрям, місця розташування виявлених дефектів і ушкоджень. На додаток до малюнків можуть використовуватися фотознімки, на яких виділяються місця виявлених несправностей.

Ідентифікація дефектів і ушкоджень – віднесення несправностей до певного класу або виду (утома, зношування, деформація, фретинг-корозія та ін.). Ідентифікація виявлених дефектів і ушкоджень здійснюється шляхом порівняння їхніх характерних ознак з відомими зразками або описами, які для зручності користування збираються й систематизуються в ілюстрованих каталогах (табл. 2.1).

Приклад каталогу (бази даних) описів несправностей, дефектів і ушкоджень

Зовнішній вигляд ушкодження	Опис ушкодження	Причини виникнення
	Осподібне викрашування упорного підшипника	Вплив змінних навантажень, за напруг у матеріалі, що досягають границі витривалості
	Пластичні зрушення металу зубів	1. Перевантаження механізму 2. Низька якість термообробки
	Фретинг – відносні мікрозміщення сполучених поверхонь, поява дрібних каверн (порожнин)	Тип зносу, який зустрічається між щільно посадженими поверхнями, що піддаються дії циклічного відносного руху надзвичайно маленької амплітуди. Зазвичай стирання супроводжується корозією, особливо найменших уламків зносу

2.2.4. Налагодження, регулювання обладнання



Налагодження – приведення фактичних відхилень режимів роботи у відповідність до нормативних.

Регулювання – операція, характерна для заключної стадії монтажу й початкової стадії експлуатації. Найбільше поширення мають центрування валів, регулювання осьової гри в регульованих підшипниках, зрівноважування роторів у власних опорах. Правильне регулювання механізму – основа його тривалої експлуатації.

Центрування валів

Механізми, що з'єднуються між собою, будуть правильно працювати в тому випадку, якщо їхні вали будуть установлені так, щоб пружні лінії валів були продовженням одна одної без зсуву й зламу в площині сполучення. Установка валів відповідно до

цих вимог у практиці одержала назву центрування.

Природний прогин валів викликає необхідність установлювати їх з певним ухилом до горизонту.

Установку валів можна виконати двома способами. Першим способом підшипники встановлюють так, щоб шийки валів з обох боків муфти були горизонтальні (рис. 2.8, а). Рівень, установлений на шийках 2 і 3 валів I і II, давав нульові показання, $\dot{a}_2 = \dot{a}_3 = 0$; у цьому випадку шийки 1 і 4 будуть мати деякий підйом, величина якого буде залежати від характеру пружної лінії валів.

Другим способом вал I однієї з машин (рис. 2.8, б) установлюють горизонтально. При цьому рівень, установлений на шийках 1 і 2 валу, дає показання ($\dot{a}_1 = \dot{a}_2$), однакові за величиною, але зворотні за знаком, а рівень, установлений на шийку 3, має дати такі ж показання, що й на шийці 2, $\dot{a}_2 = \dot{a}_3$; шийка 4 має підйом. За значної величини підйому цю-

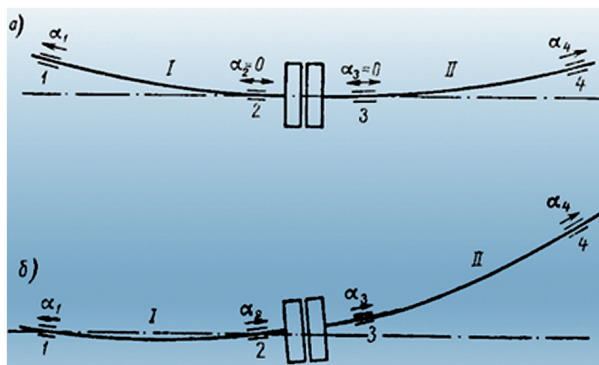


Рис. 2.8. Різні способи установки лінії валів двомашинного агрегату

го кінця вала горизонтальна складова ваги ротора машини II під час роботи агрегату буде натискати на підшипник машини I. З огляду на цей недолік, звичайно установку валів проводять першим способом.

Встановлюючи лінії валів багатомашинних агрегатів, прагнуть до того, щоб підйом крайніх підшипників агрегату був однаковим, найважчий ротор агрегату звичайно розташовують горизонтально.

Ухил шийки валу вимірюють рівнем у чотирьох положеннях валу, повертаючи вал на 900, у кожному положенні роблять два виміри; для другого виміру рівень повертають на 1800. За величину ухилу приймають середньоарифметичне значення восьми показань. Таке визначення ухилу шийок валів необхідне, щоб уникнути помилки при скріпленні валу або відхиленні осі шийки від осі обертання (про такі дефекти свідчать значні зміни показань рівня, установленого на шийку валу, за різних положень ротора).

Для перевірки установки валів агрегату, що перебуває в експлуатації, необхідно зняти всі кришки підшипників і перевірити рівнем ухили всіх шийок валів. Ціна розподілу застосовуваних для цього рівнів відповідає звичайно підйому 0,1 мм на 1 м. Відсутність змін в ухилах за порівняння отриманих даних з даними монтажного формуляра вказує на збереження центрування. Якщо ж виявляються розбіжності у величинах або в напрямках ухилів, то необхідно перевірити центрування агрегату. Якщо при зміні ухилів шийок центрування не порушене, то має місце нерівномірне осідання фундаменту.

Осі обертання двох валів мають паралельний зсув (рис. 2.9) і кутовий злам (рис. 2.10).



Звичайно **неспіввісність** – це комбінація двох зазначених видів. У процесі роботи, навіть при використанні пружних муфт, перекози приводять до збільшення навантаження на опорні частини машини, підвищення вібрації та інших негативних ефектів.

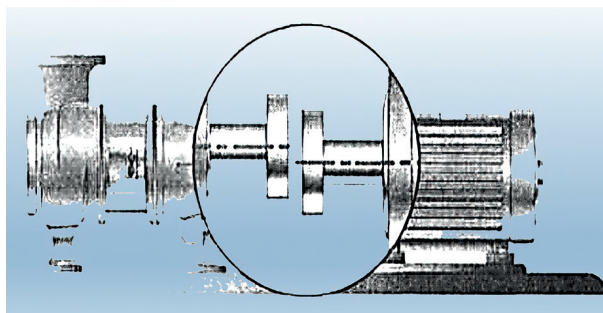


Рис. 2.9. Паралельний зсув валів

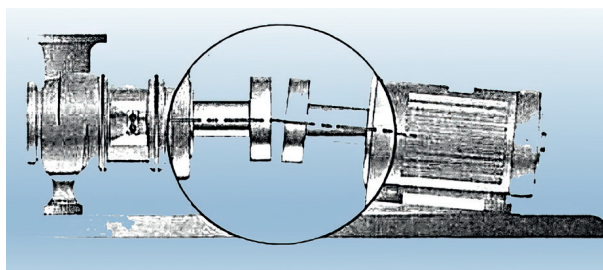


Рис. 2.10. Кутовий злам валів



Вплив неспіввісності.

- 1. На підшипники** – приводить до виникнення додаткових сил. Підвищення навантаження на підшипники внаслідок перекосу валів на 20% скорочує розрахункову довговічність підшипників на 50%.
- 2. На ущільнення** – приводить до зношування ущільнень, збільшує ризик ушкодження підшипників через проникнення бруду й витікання мастильного матеріалу.
- 3. На муфти й вали.** Вібрації, викликані неспіввісністю, викликають ушкодження муфт (перегрів, ослаблення, поломка болтів) і валів.
- 4. На споживання енергії.** Споживання енергії двигуном може зрости до 20% внаслідок перекосів. Точність вивірки. Зсув і злам валів повинні бути в межах установлених допусків (табл. 2.2). Високошвидкісні машини вимагають точнішої вивірки.

Допуски (мм) на неспіввісність валів					Таблиця 2.2
Частота обертання, об/хв	Добре		Припустимо		
	Зсув	Злам	Зсув	Злам	
0.....1000	0,08	0,07	0,12	0,1	
1000...2000	0,06	0,05	0,10	0,08	
2000...3000	0,04	0,04	0,07	0,07	
3000...4000	0,03	0,03	0,05	0,05	
Більше 4000	0,02	0,02	0,04	0,04	

Допуски на центрування при діаметрі муфти 500 мм			Таблиця 2.3
Тип з'єднувальної муфти	Добре	Припустимо	
	по окружності (радіальні зазори)	по торцю (осьові зазори)	
Тверда	0,04	0,05	
Напівтверда	0,06	0,05	
Пружинна	0,06	0,06	
Кулачкова	0,08	0,08	
Зубчаста	0,10	0,08	

Примітка: зазначені відхилення наведені без врахування впливу на центрування теплових розширень фундаменту й корпусів підшипників за висотою або можливих деформацій опор.

Для центрування валів використовують метод грубої вивірки за допомогою лінійок, щупів, клинових щупів (рис. 2.11); і методи точної вивірки за допомогою індикаторів годинного типу (рис. 2.12) або лазерного центрувальника (рис. 2.13).

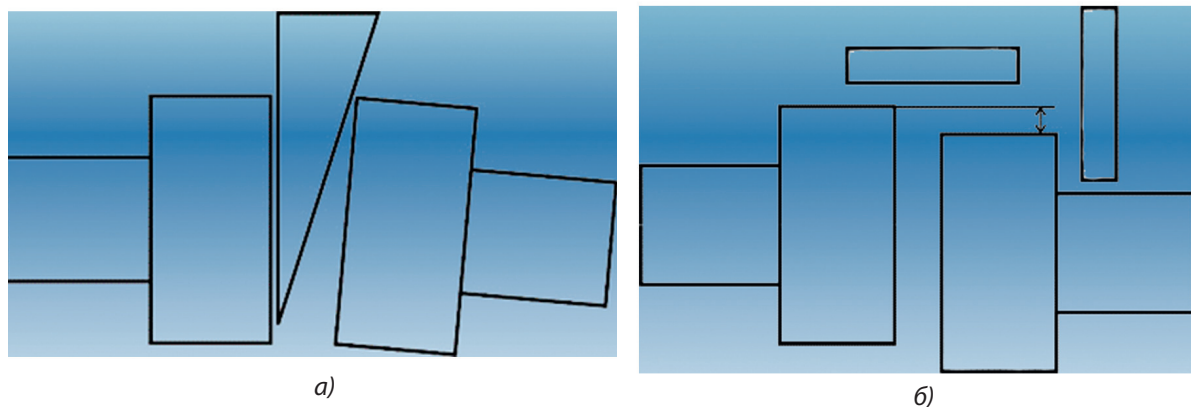


Рис. 2.11. Методи грубої вивірки:
а) за допомогою щупів; б) за допомогою лінійки

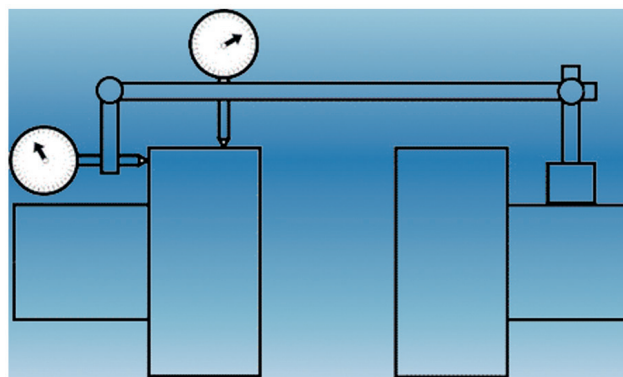
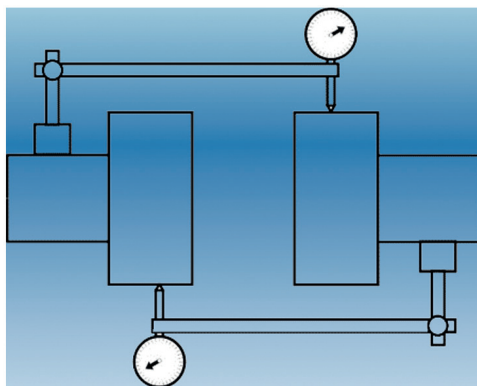


Рис. 2.12. Метод точного центрування за допомогою індикаторів переміщення годинного типу



Комплект для центрування включає:

вимірювальні індикатори; обчислювальний пристрій; пристосування для установки індикаторів на валах; комплект прокладок; інструмент для виміру лінійних розмірів; пристосування для підйому й переміщення центрального вузла.

Склад і принцип роботи комплекту для лазерного центрування

До складу комплекту ABB-001 для лазерного центрування входять: два вимірювальних блоки; блок дисплея; універсальний пристрій для кріплення вимірювальних блоків на валах механізмів; зарядний пристрій; сполучні кабелі; посібник з експлуатації (рис. 2.14).

Кожний вимірювальний блок має своє маркування – блок «S» і блок «M». Вимірювальний блок «S» встановлюється на нерухомий механізм, а вимірювальний блок «M» – на рухомий механізм. У корпуси вимірювальних блоків вбудовані лазерний випромінювач і приймач-детектор. Під час виконання центрування механізмів вимірювальні блоки кріпляться на вертикальних штангах, установлених на призмах. Призми встановлюються на вали механізму за допомогою ланцюгів, які натягаються гайкою. Для визначення площинності поверхонь вимірювальні блоки встановлюють на магніти. Вимірювальні блоки можуть бути встановлені на механізм за допомогою трьох отворів з різьбленням M6.



Рис. 2.13. Вимір неспіввісності валів за допомогою лазерної системи



Рис. 2.14. Загальний вид комплекту для лазерного центрування



Звичайно в якості нерухокої вибирається частина механізму, положення якої в процесі вивірки не міняється (насос, вентилятор), рухома частина переміщується для усунення неспіввісності – **двигун**.

Принцип роботи лазерної системи полягає у вимірі переміщень видимого лазерного променя червоного кольору по вікну приймача-детектора. Вимірювальні програми в блоці дисплея обробляють дані, що надійшли із приймачів-детекторів, й розраховують необхідні переміщення лабетів рухливого механізму.

Під час виконання робіт з вивірки співвісності валів виміри виконуються в трьох положеннях валів: 9 годин, 12 годин і 3 години. У приладі також є програма, що розраховує центрування механізмів за розвороту валів на малі кути (200 і більше від положення 12 годин). Точне положення визначається електронним інклінометром, убудованим у вимірювальний блок «S». Після установки лазерної системи на вали механізмів виконується ручне налаштування лазерного променя по центру мішені за допомогою регульовальних гвинтів; при цьому вікна датчиків приймачів мають бути закриті.

Розрізняють вивірку пасових передач і центрування валів.

Точна вивірка пасових передач забезпечує: зменшення тертя й споживання енергії; зменшення вібрації й шуму; продовження терміну служби підшипників і ременів; підвищення безпеки; зменшення простоїв; зниження витрат на ремонт.

Для точної вивірки пасових передач використовують два лазерних пристрої, установлені по канавках шківів.

Види перекоосу ременів: кутовий перекіс валів; кутовий перекіс поверхонь шківів; паралельний зсув шківів (рис. 2.15).

Складання сполучних муфт. Співвісність горизонтальних валів визначається центруванням по напівмуфтах. Радіальні й осьові зазори при центруванні вимірюють у вихідному положенні 00 і після повороту валів на 90°, 180° і 270° у напрямку робочого обертання. У кожному положенні напівмуфт проводять вимір радіального й осьового зазору між напівмуфтами. Для контролю правильності вимірів після чотирьох вимірів необхідно встановити напівмуфти у вихідне положення (00). Результати повторних вимірів у цьому положенні повинні збігатися з вихідними, в іншому випадку варто знайти причину відхилення й усунути. Результати вимірів заносять у кругову діаграму. Правильність виміру перевіряють,

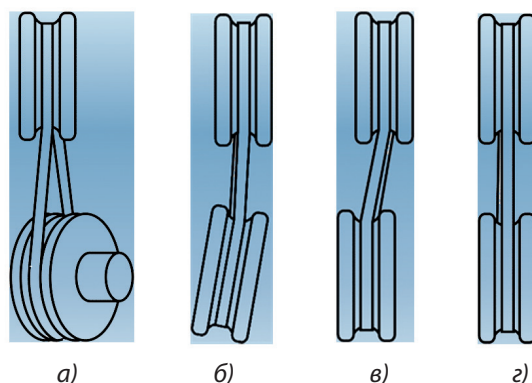


Рис. 2.15. Види перекоосів і правильна вивірка шківів пасової передачі:

- а) вертикальний кутовий перекіс;
- б) горизонтальний кутовий перекіс;
- в) паралельний перекіс;
- г) правильна вивірка

зіставивши суми результатів, отриманих при вимірі на протилежних сторонах напівмуфт. Ці суми мають бути рівні між собою. Відхилення, що допускається, не повинне перевищувати 0,02 мм.

Отримані виміри по торцю й окружності можна привести до нуля шляхом вирахування з отриманих результатів найменшого зазору. У випадку незадовільних результатів центрування й необхідності переміщення валів у горизонтальній і вертикальній площинах визначають величини переміщення (рис. 2.16):

$$x_1 = A \cdot (L+l)/d_m; y_1 = A \cdot l/d_m; x_2 = y_2 = R/2; \\ x = x_1 + x_2;$$

$$y = y_1 + y_2; x = A \cdot (L+l)/d_m + R/2; y = A \cdot l/d_m + R/2,$$

де $R = R_1 - R_2$ – розцентровка валів по окружності;
 $A = A_1 - A_2$ – розцентровка валів по торцю.

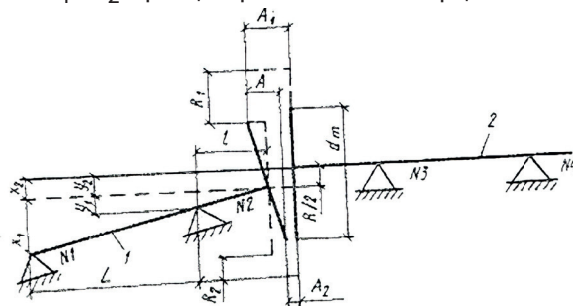


Рис. 2.16. Вивірка співвісності горизонтальних валів:
 I, II – площини вимірів; 1 – вал прицентрувальний;
 2 – вал базовий; №1...4 – підшипники

Центрування валів



Порядок центрування. Досяжна в промислових умовах точність центрування становить 0,02...0,1 мм. Метою центрування є установка двигуна так, щоб його вал був продовженням валу механізму.

Перед установкою пристосувань для центрування напівмуфти мають бути роз'єднані, щоб не було торкань між напівмуфтами. Потім перевіряють вільне провертання кожного з роторів і переконуються у відсутності зачіпань.

Для виміру радіальних і осьових зазорів застосовують пристосування різних конструкцій, що зміцнюються на напівмуфтах або на валах поблизу напівмуфт (рис. 2.17). Пристосування повинні мати достатню твердість для того, щоб не прогинатися під час виконання вимірів і під дією власної ваги. Для підвищення точності вимірів установлюють індикатори переміщення (точність 0,01 мм). Установлюють ротори так, щоб ризики на обох напівмуфтах збігалися, зміцнюють центрувальне пристосування. Зовнішню скобу встановлюють на напівмуфті вивіреної машини. Після установки індикаторів необхідно перевірити надійність закріплення й відсутність заїдань у механізмі індикатора. Для цього злегка відтягають вимірювальний стрижень індикатора й повертають на місце. Стрілка індикатора повинна при цьому вертатися на встановлений відлік. Під час вимірів необхідно періодично переконуватися в тому, що всі скоби не торкаються яких-небудь частин машини; не слід торкатися скоб руками.

Для виміру радіальних і осьових зазорів обидва ротори одночасно повертають від вихідного положення (00) на 90°, 180° і 270° у напрямку обертання приводного двигуна або механізму й вимірюють за-

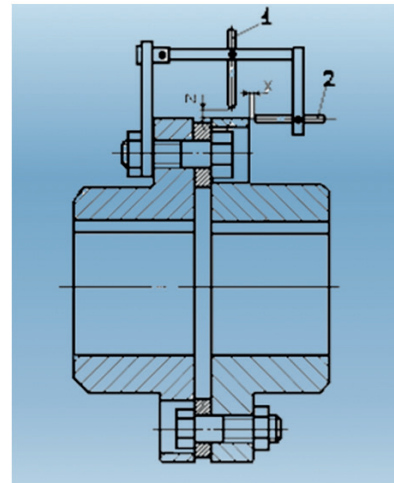


Рис. 2.17. Пристосування для центрування

зори в кожному із цих чотирьох положень і при збігу рисок. Щоб виміри були точними, їх має робити одна особа. Легкі ротори можна повертати вручну або важелем, важкі доводиться повертати краном.

Центрувати можна при з'єднаних і при роз'єднаних муфтах. Перевірка центрування при з'єднаних муфтах вимагає менше часу й забезпечує спільний поворот валів. При центруванні з роз'єднаними муфтами потрібно дуже ретельно проводити спільний поворот валів, щоб риски, нанесені на втулках напівмуфт, збігалися як при відліку, так і при провертанні валів.

Спочатку проводять сполучення осей у вертикальному напрямку, а потім у горизонтальному.

Приклад. Нехай вал прицентованого механізму й скоба для виміру осьових зазорів мають розміри, показані на рисунку 2.18, тобто $l_1 = 350$ мм, $l_2 = 2000$ мм, $r = 400$ мм. При вимірі радіальних і осьових зазорів отримано дані, наведені на рисунку 2.18 б, що відповідає розташуванню валів, показаному на рисунку 2.18 в; зовнішня скоба встановлена на напівмуфті вивіреної машини.

Користуючись формулами, одержимо:

$$y_1 = (a_1 - a_3)/2 + ((b_1 - b_3)/2) l_1/r = (0,65 - 0,45)/2 + ((0,90 - 0,58)/2)350/400 = 0,24 \text{ мм};$$

$$y_2 = (a_1 - a_3)/2 + ((b_1 - b_3)/2) l_2/r = (0,65 - 0,45)/2 + ((0,90 - 0,58)/2)2000/400 = 0,90 \text{ мм};$$

$$x_1 = (a_2 - a_4)/2 + ((b_2 - b_4)/2) l_1/r = (0,28 - 0,82)/2 + ((0,80 - 0,68)/2)350/400 = -0,22 \text{ мм};$$

$$x_2 = (a_2 - a_4)/2 + ((b_2 - b_4)/2) l_2/r = (0,28 - 0,82)/2 + ((0,80 - 0,68)/2)2000/400 = 0,03 \text{ мм}.$$

РОЗДІЛ 2.3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТІВ МАШИН І АГРЕГАТІВ

2.3.1. Види ремонтів, передбачені системою ТОіР

2.3.2. Планування, підготовка і методи проведення ремонтів

2.3.3. Документація, що складається на ремонт

2.3.4. Форми і структура організації ремонтної служби

2.3.5. Комплексна система керування якістю ремонтного виробництва. АСУ ремонти

2.3.6. Цехи по виробництву запасних частин і змінного обладнання

2.3.1. Види ремонтів, передбачені системою ТОіР



Існують три основних види організації виконання усіх ремонтних робіт на підприємстві:

- **централізована організація** – передбачає виконання усіх ремонтних робіт на заводі силами та засобами відділу головного механіка (ВГМ) та ремонтно-механічного цеху (РМЦ). Така організація є типовою для підприємств з невеликою кількістю обладнання;
- **децентралізована організація** виконання ремонтних робіт полягає в тому, що всі види ремонтних робіт – міжремонтне обслуговування, періодичні ремонти, зокрема і капітальний ремонт – здійснюються під керівництвом механіків цехів цехові ремонтні бригади. Ремонтно-механічний цех, який підпорядковується головному механіку, здійснює тільки капітальний ремонт складних агрегатів. Крім того, він виготовляє і відновлює для цехових ремонтних бригад деталі і складальні одиниці обладнання, виготовлення яких вимагає застосування обладнання, відсутнього у цеховій ремонтній бригаді;
- **змішана організація** – передбачає виконання всіх видів ремонту, крім капітального, ремонтними бригадами основних цехів. Капітальний ремонт здійснює ремонтно-механічний цех.

Ремонт обладнання на підприємстві має здійснюватися завчасно, до остаточного зносу машини і втрати можливості подальшої експлуатації.

Щоб запобігти прогресуючому зносу обладнання, підприємства запроваджують систему пла-

ново-попереджувальних ремонтів (ППР). Термін та обсяг ремонтів за цією системою визначається заздалегідь спланованим графіком (планом). Періодичність ремонтів призначається залежно від ресурсу часу, відпрацьованого обладнанням, що викликає виникнення аварійних ситуацій. Крім того, така система дозволяє ремонтним та експлуатаційним службам завчасно підготуватися до виведення верстата або агрегату з виробничого процесу.

Ремонт обладнання може бути плановим і виконуватися відповідно до графіка, або неплановим.



Плановий ремонт – це ремонт, передбачений раціональною системою технічного обслуговування і ремонту обладнання, який виконується після встановленої нормами кількості годин, відпрацьованих обладнанням.

Неплановий ремонт – це ремонт, передбачений раціональною системою технічного обслуговування і ремонту обладнання, що здійснюється у неплановому порядку, за необхідності.

Неплановий ремонт включає виконання таких робіт: заміна деталей, що випадково вийшли з ладу або відновлення їх працездатності, поновлення випадкових порушень регулювання спряжень або вузлів. Такі ремонти мають виконуватися без перерв у роботі обладнання, наприклад, під час обідньої перерви, в нічну зміну, у вихідні дні.



Рис. 2.19. Капітальний ремонт крану

За складом та обсягом виконуваних робіт розрізняють види ремонту:

- поточний (малий і середній)
- капітальний
- аварійний.

Поточний – плановий ремонт, що виконується з метою гарантованого забезпечення працездатності обладнання протягом встановленої нормативами кількості годин роботи до наступного ремонту і полягає у заміні або відновленні окремих деталей чи окремих складальних одиниць та зв'язаних з цим демонтажем, складанням і регулюванням.

Капітальний – плановий ремонт, що виконується з метою відновлення експлуатаційних ха-

рактеристик та гарантованого забезпечення працездатності обладнання протягом встановленої нормативами кількості годин роботи до наступного капітального ремонту.

Під час капітального ремонту устаткування розбирають і визначають дефекти деталей та складальних одиниць. Після заміни деталей або їх відновлення здійснюють складання, регулювання та випробування.

Аварійний – неплановий ремонт, що зумовлюється дефектами конструкції або виготовлення, дефектами попередніх ремонтів чи порушеннями правил експлуатації.

2.3.2. Планування, підготовка і методи проведення ремонтів

Ефективна робота устаткування неможлива без своєчасного виконання технічного обслуговування й ремонту в певних обсягах і встановленої якості. Тривале збереження устаткуванням працездатності й зменшення суми витрат на її підтримку й втрат основного виробництва, пов'язаних із простоями устаткування через несправність, вимагають раціональної організації експлуатації й обов'язкового виконання комплексу робіт з його технічного обслуговування.

Проведення технічного обслуговування й ремонтів технологічного (механічного) устаткування здійснюється на підставі Єдиної системи планово-запобіжного ремонту й раціональної експлуатації технологічного устаткування машинобудівних підприємств, яка містить:

- а) визначення ремонтних робіт за видами і їх опис;
- б) планування профілактичних операцій (регулювання, підтягування болтових з'єднань та ін.) і контролювання їх виконання;
- в) установлення тривалості ремонтних циклів, міжремонтних періодів;
- г) визначення категорій ремонтоскладності для всіх видів устаткування;
- д) організацію служби для виробництва ремонтних робіт;
- е) застосування сучасних методів ремонту устаткування, що спрощують технологію й методи відновлення зношених деталей;
- ж) організацію закупівель готових запчастин, впровадження прогресивних технологічних про-



Рис. 2.20. Виконання робіт з технічного обслуговування

цесів виготовлення запчастин, їх зберігання й облік;
з) ведення мастильного господарства;
і) організацію матеріального постачання ремонтної служби;
к) організацію контролю якості ремонту й догляду за устаткуванням.

Порядок виконання робіт з технічного обслуговування й ремонту

Керівник ремонтної служби наприкінці кожного року розробляє на наступний рік графік планово-запобіжних ремонтів. Річний графік розписується по місяцях і видається керівникам виробничих ділянок. Огляди й усі види ремонтів роблять слюсарі-ремонтники й електрослюсарі ремонтної служби (далі – персонал). Ремонтний, черговий і експлуатаційний персонал зобов'язаний знати і дотримувати правил технічної експлуатації устаткування, викладених в інструкції з технічного обслуговування устаткування, знати й виконувати чинні посадові інструкції. Інструкції технічного обслуговування устаткування мають знаходитися на робочих місцях, де встановлене устаткування. Керівник виробничої ділянки закріплює устаткування за експлуатаційним персоналом, чий прізвища пишуться на спеціальних планшетах, розміщених на устаткуванні. Керівник виробничої ділянки регулярно заносить зауваження щодо технічного стану устаткування в журнал своєї ділянки. Експлуатаційний персонал ділянок бере участь у технічному обслуговуванні й ремонті закріпленого за ним устаткування. Вивід устаткування на ремонт проводиться згідно із затвердженими планами ППР. Види тех-

нічного обслуговування й ремонтів технологічного устаткування:

- I – внутрішньозмінне технічне обслуговування – поточний ремонт;
- II – огляд;
- III – малий ремонт;
- IV – середній ремонт;
- V – капітальний ремонт.

Внутрішньозмінне технічне обслуговування здійснює експлуатаційний персонал ділянки, черговий і ремонтний персонал під час технологічних простоїв, обідньої перерви технологічного персоналу ділянки. Підставою внутрішньозмінного технічного обслуговування є журнал приймання-передачі змін, де фіксуються всі збої в роботі устаткування, технологічні зупинки, час простою. Журнал веде керівник виробничої ділянки. Увесь експлуатаційний персонал через керівництво виробничою ділянкою забезпечується інструкціями з технічного обслуговування, розробленими керівником ремонтної служби, у яких регламентуються його функції й обсяги робіт протягом зміни. Усі види ремонтів технологічного устаткування у виробничих ділянках виконують персонал ремонтної служби й, якщо є потреба, підрядні організації. Видача завдань ремонтному персоналу оформляється в журналі.

Огляди проводить персонал ремонтної служби для перевірки стану устаткування, усунення механічних і електротехнічних поломок і визначення обсягу підготовчих робіт для майбутнього технічного обслуговування або планового ремонту, інженерно-технічні працівники ремонтної служби й від-

повідної виробничої ділянки. Огляд проводиться згідно з річним планом ППР.

Малий ремонт (П1, П2) – вид планового ремонту, за якого шляхом заміни або відновлення зношених деталей і регулювання механізмів забезпечується нормальна робота устаткування до чергового планового ремонту. Малий ремонт проводиться відповідно до річного й місячного графіків ППР. Малі ремонти виконують ремонтні бригади під керівництвом керівника ремонтної служби із залученням експлуатаційного персоналу виробничої ділянки. Після проведення малого ремонту керівник ремонтної служби робить запис результатів в агрегатному журналі.

Середній ремонт – вид планового ремонту, за якого проводиться часткове розбирання устаткування, капітальний ремонт окремих вузлів, заміна й відновлення основних зношених деталей, складання, регулювання й випробування під навантаженням.

Під час середнього ремонту персонал ремонтної служби із залученням персоналу виробничої ділянки проводять перевірку устаткування на технологічну точність. Після проведення середнього ремонту керівник ремонтної служби робить запис результатів в агрегатному журналі.

Капітальний ремонт – комплекс робіт, що включають повне розбирання устаткування, заміну всіх зношених вузлів і деталей, ремонт базових деталей і вузлів, складання, регулювання й випробування устаткування під навантаженням. Під час капітального ремонту відновлюють передбачену нормативними документами по обслуговуванню й ремонту геометричну точність устаткування на строк до чергового планового ремонту. Зупинка устаткування на капітальний ремонт здійснюється відповідно до річного плану ППР. Капітальний ремонт виконується на підставі записів у журналах приймання-передачі змін, агрегатних журналах і паспортних даних устаткування.

Виробничий процес капітального ремонту машин складається з підготовчих, основних і завершальних операцій.

Залежно від кількості ремонтуваних впродовж року машин, їх габаритів і маси, а також оснащення ремонтних баз застосовують наступні методи ремонту промислового устаткування: індивідуальний, змінно-вузловий (агрегатний) і потоковий.

За індивідуального методу ремонту деталі, що підлягають відновленню ремонтують і знову встановлюють на ті ж машини, з яких вони були зняті. Внаслідок того, що відновлення зношених деталей

проводиться в період ремонту машини, останній характеризується великою тривалістю. Увесь ремонт виконує, як правило, одна комплексна бригада.

Індивідуальний метод застосовують для ремонту нестандартного і серійного допоміжного устаткування, наявного в невеликих кількостях.

За змінно-вузлового методу ремонтвану машину розбирають на агрегати і вузли, які передають на спеціалізовані ділянки ремонтної бази. Паралельно з ремонтом вузлів і агрегатів здійснюють і ремонт базової деталі. Цей метод ремонту дозволяє підвищити якість, понизити вартість і скоротити терміни ремонту.

За потокового методу увесь технологічний процес розбивають на низку етапів, суворо погоджених в часі.

Потоковий метод забезпечує високу продуктивність і ритмічність роботи ремонтного підприємства, спеціалізацію устаткування і виробничих робітників, механізацію і автоматизацію процесу ремонту машин, завдяки чому тривалість простою машини в ремонті і його вартість скорочується.

Потоковий метод доцільно застосовувати на ремонтних підприємствах, де щорічно ремонтується велика кількість однотипних машин.

Порядок передачі устаткування в ремонт

Зупинка устаткування на ремонт проводиться згідно з планом ППР. Перенос або скасування ремонту допускається тільки з дозволу керівника підприємства. Перед початком ремонтних робіт замовник (керівник виробничої ділянки) повинен надати устаткування в чистому вигляді, звільнити територію від сторонніх предметів, забезпечити відключення устаткування від електричних мереж і комунікацій і передати устаткування по акту передачі в ремонт.

Порядок приймання устаткування після ремонту

Приймання устаткування в експлуатацію після ремонту здійснює відповідна виробнича ділянка. Приймання устаткування після ремонту здійснюється після його огляду й випробування протягом 72 годин. Пуск устаткування в експлуатацію дозволяється після оформлення акту передачі устаткування в експлуатацію, який є одним з документів, що підтверджує забезпечення якості технічного обслуговування й ремонтів технологічного устаткування.

2.3.3. Документація, що складається на ремонт

Призначення ремонтної (конструкторської) документації (РД)

Ремонтні документи (РД) на капітальний та (чи) середній ремонті призначені для підготовки ремонтного виробництва, ремонту і контролю відремонтованих виробів та їх складових частин.

РД розробляють на вироби, для яких передбачають за допомогою ремонту технічно можливе й економічно доцільне відновлення параметрів і характеристик (властивостей), що змінюються в процесі експлуатації і визначають можливість використання виробу за прямим призначенням.

Види РД



Залежно від характеристик ремонтних виробів і специфіки ремонту РД розробляють на ремонт:

- виробів або складових частин одного виробу одного конкретного найменування (однієї марки, типу);
- виробів декількох найменувань, коли вимоги до їх ремонту ідентичні;
- виробів, що ремонтуються на спеціалізованих підприємствах;
- виробів, що ремонтуються на місці експлуатації, включаючи всі складові частини;
- виробів, що ремонтуються на місці експлуатації, а окремих їх складових частин – на спеціалізованих підприємствах.

Вимоги до змісту РД

РД, в загальному випадку, розробляють на основі:

- робочої конструкторської документації на виготовлення виробів за ДСТУ 3008:2015 ;
- експлуатаційної документації за ДСТУ ГОСТ 2.601:2006;
- технічних умов на виріб по ГОСТ 2.114-95 (за наявності);
- технологічної документації на виготовлення виробу (за наявності);
- матеріалів по дослідженню несправностей, що виникають під час випробування і експлуатації виробів реального типу або аналогічних виробів інших типів;
- аналізу показників безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і збережуваності виробу під час експлуатації до ремонту і в міжремонтні періоди;
- матеріалів по ремонту аналогічних виробів.

Відомості про виріб в РД мають бути мінімальними за обсягом, але достатніми для забезпечення правильного виконання ремонту. За необхідності в РД наведені вказівки про необхідні рівні підготовки обслуговуючого персоналу.

Перелік конкретних документів, на основі яких розробляють РД, вказується в технічному завданні на розробку РД.

Таблиця 2.4.

Перелік видів ремонтних документів та їх коди за номенклатурою

Код	Вид документа	Визначення
РК (капітального) РС (середнього)	Настанова щодо ремонтування	Ремонтний документ, що містить вказівки щодо організації ремонту, правила та порядок капітального (середнього) ремонту виробу, контролювання, регулювання, випробовування, консервування, транспортування і зберігання виробу після ремонту, монтування і випробовування виробу на об'єкті, визначення показників і норм, яким повинен відповідати відремонтований виріб/ <i>продовження на стор. 100 ►</i>

	Загальна настанова щодо ремонту	Ремонтний документ, що містить загальні вказівки щодо організації і технології ремонту певної групи однотипних виробів, правила і порядок готування та виконання ремонту, значення показників і норми, яким повинні відповідати вироби після ремонту, правила та порядок випробовування, консервування, транспортування і зберігання після ремонту
УК (капітального) УС (середнього)	Технічні умови на капітальний та (чи) середній ремонт	Документ на ремонт, який містить технічні вимоги, показники і норми, яким повинен відповідати цей виріб після капітального та (чи) середнього ремонту, вимоги до контрольних випробувань, комплектування, упакування, транспортування і зберігання виробу після ремонту
	Загальні технічні умови на капітальний та (чи) середній ремонт	Документ на ремонт, який містить загальні технічні вимоги, показники і норми, яким повинні відповідати всі вироби після капітального та (чи) середнього ремонту
	Ремонтні кресленики	Кресленики, що містять тільки ті зображення виробу, розміри, граничні відхили і додаткові дані, згідно з якими його ремонтують та контролюють у процесі після ремонту
ЗК (капітального) ЗС (середнього)	Норми витрат запасних частин на ремонт	Документ на ремонт, що містить номенклатуру запасних частин виробу та їх кількість, потрібну, щоб підготувати ремонтне виробництво унормованої кількості виробів, відремонтувати виріб та проконтролювати його під час ремонту і після нього
МК (капітального) МС (середнього)	Норми витрат матеріалів на ремонт	Ремонтний документ, що містить номенклатуру матеріалів і їх кількість, потрібну, щоб підготувати ремонтне виробництво унормованої кількості виробів, відремонтувати виріб та проконтролювати його під час ремонту і після нього
ЗИК (капітального) ЗИС (середнього)	Відомість (розпис) комплекту запасних частин, інструментів та приладдя (ЗІП) на ремонт	Ремонтний документ, що містить номенклатуру та відомість про призначення, кількість і місце зберігання запасних частин, інструменту, приладдя та матеріалів, потрібних, щоб ремонтувати виріб
	Технічна документація на засоби оснащення ремонту	Документація, що містить інформацію для виготовлення, випробування та приймання ремонтно-технологічного та імітаційно-стендового оснащення ремонту. У її склад входять: · робочу конструкторську документацію на виготовлення, випробування та приймання (за необхідності); · технічні умови (за необхідності); · експлуатаційні документи
ВРК (капітального) ВРС (середнього)	Відомість документів на ремонт	Документ, яким встановлено склад комплекту конструкторських документів для виконання ремонту виробу



У комплект документів для ремонту, як правило, входять:

- ремонтні документи відповідно до таблиці;
- повний або неповний комплект робочої конструкторської документації на виготовлення виробу;
- експлуатаційні документи відповідно до ДСТУ ГОСТ 2.601:2006.

Документи, що складаються для виконання КР

1. Положення СТОіР
2. Графік ППР
3. Ремонтна відомість
4. Кошторис витрат
5. Проєкт організації робіт (ПОР)
6. Акт прийому-здачі у ремонт

2.3.4. Форми і структура організації ремонтної служби

Сучасні підприємства галузевого машинобудування оснащені дорогим і різноманітним устаткуванням, установками, роботизованими комплексами, транспортними засобами й іншими видами основних фондів. У процесі роботи вони втрачають свої робочі якості головним чином через зношування і руйнування окремих деталей, тому знижуються точність, потужність, продуктивність та інші параметри.

Для компенсації зношування й підтримки устаткування в нормальному працездатному стані потрібні системне технічне обслуговування й виконання ремонтних робіт, а також проведення заходів щодо технічної діагностики.

Технічним обслуговуванням називають комплекс операцій, спрямованих на підтримку працездатності або справності устаткування під час його використання за призначенням, очікування, зберігання й транспортування.



Ремонт – це комплекс операцій з відновлення справності, працездатності або ресурсу устаткування чи його складових.

Спрацювання устаткування в процесі його експлуатації й нераціональна організація технічного обслуговування та ремонту призводять до збільшення простоїв в ремонті, погіршення якості обробки й зростання браку, а також збільшення витрат на ремонт.

Про значення поліпшення організації збереження й ремонту устаткування свідчать такі показники: річні витрати на ремонт і технічне обслуговування устаткування на підприємствах становлять 10 – 25 % його первісної вартості, а їхня частка в собівартості продукції сягає 6 – 8 %.

Кількість ремонтників коливається в межах 20 – 30 % від загальної кількості допоміжних робітників.

Основними завданнями організації планування ремонтної служби підприємства є:

- ♦ збереження устаткування в працездатному, технічно справному стані, що забезпечує його високу продуктивність і безперервну роботу;
- ♦ скорочення часу й витрат на обслуговування та всі види ремонтів.

Вирішення таких завдань вимагає організації правильної експлуатації обслуговування, своєчасного проведення необхідного ремонту, а також модернізації устаткування.

Для виконання всіх видів робіт з організації раціонального обслуговування і ремонту устаткування й інших видів основних фондів на підприємствах створюються ремонтні служби, їхня структура залежить від багатьох чинників: типу й обсягу виробництва, його технічних характеристик, розвитку кооперування під час виконання ремонтних робіт, системи централізації та ін.

До складу ремонтної служби великого й середнього підприємства належать відділ головного механіка (ВГМ), ремонтно-механічний цех (РМЦ), цехові ремонтні служби, загальнозаводський склад запасних деталей і вузлів.

Відділ головного механіка очолює головний механік, який підпорядковується безпосередньо головному інженеру заводу.

У складі ВГМ, як правило, створюються такі функціональні підрозділи:

- бюро планово-попереджувального ремонту (ППР);
- конструкторсько-технологічне бюро;
- планово-виробниче бюро;
- група кранового устаткування.

До складу бюро ППР входять групи: інспекторська, обліку устаткування, запасних частин і ремонтно-мастильного господарства.

Інспекторська група планує, контролює й враховує виконання ремонтних робіт усіх видів; інспектує правильність експлуатації й розробляє інструкції з догляду за устаткуванням.

Група обліку устаткування здійснює паспортизацію й облік устаткування всіх видів, стежить за його переміщенням, контролює стан зберігання та якості консервації невстановленого устаткування, проводить щорічну інвентаризацію.

Група запасних частин установлює номенклатуру, строки служби, норми видачі й ліміти на запасні деталі й покупні матеріали, планує виготовлення запасних частин і керує складськими запасами деталей.

Група ремонтно-мастильного господарства контролює виконання графіка змащення устаткування; установлює ліміти на обтиральні-мастильні матеріали й на збір відпрацьованого мастила і його регенерацію.

Конструкторсько-технологічне бюро здійснює всю технічну підготовку системи ППР і ремонтних робіт всіх видів, включаючи модернізацію; забезпечує комплектування альбомів креслень і їхнє зберігання для всіх видів устаткування.

Планово-виробниче бюро планує й контролює роботу ремонтно-механічного цеху та цехових ремонтних служб, здійснює матеріальну підготовку ремонтних робіт, складає звіти з виконання планів

ремонтних робіт заводу, проводить аналіз техніко-економічних показників ремонтної служби заводу, виявляє непродуктивні витрати, розробляє заходи щодо їхнього усунення.

Група кранового устаткування стежить за експлуатацією й станом всіх підйомно-транспортних механізмів, планує й контролює виконання ремонтів усіх видів.

Ремонтно-механічний цех є основною матеріальною базою ремонтної служби підприємства. Він комплектується різноманітним універсальним устаткуванням і висококваліфікованими робітниками. У цьому цеху виконуються всі найскладніші роботи з ремонту устаткування, виготовлення й відновлення змінних деталей, а також роботи з модернізації устаткування.

Цехові ремонтні служби створюються у великих основних цехах заводу тільки під час використання децентралізованої й змішаної систем організації ремонтних робіт. Служби підпорядковуються механікам цехів.

Загальнозаводський склад запасних деталей і вузлів здійснює зберігання й облік усіх матеріальних цінностей, необхідних для проведення всіх видів ремонтів устаткування й підйомно-транспортних засобів.

Штати інженерно-технічних працівників і службовців ремонтної служби підприємства встановлюються залежно від кількості ремонтних одиниць устаткування в цілому по заводу

2.3.5. Комплексна система керування якістю ремонтного виробництва. АСУ ремонту

Створення сучасної автоматизованої системи управління ремонтно-технічним обслуговуванням – одне з першочергових завдань будь-якого підприємства, яке думає про майбутнє і збирається працювати на ринку довго і успішно.

Програма АСУ РТО вирішує наступні завдання:

- ♦ створення баз даних, що містять інформацію про устаткування підприємства, його технічні, технологічні і ремонтні характеристики;
- ♦ створення баз даних нормативної ремонтної документації (норми часу, техніко-економічні нормативи та ін.);
- ♦ створення баз даних графічної технологічної і конструкторської документації (технологічні схеми, креслення та ін.);

**Заповнення КТП
в АСУ РТО**



- ♦ контроль стану устаткування підприємства, реєстрація відмов і дефектів устаткування, контроль їх усунення і аналіз причин виникнення і розвитку;
- ♦ комп'ютерна підтримка виконання функцій різних видів ремонту і технічного обслуговування устаткування;
- ♦ визначення потреб в матеріальних ресурсах на ремонті, аналіз і контроль їх використання;
- ♦ формування архівів ремонтів і відмов устаткування.

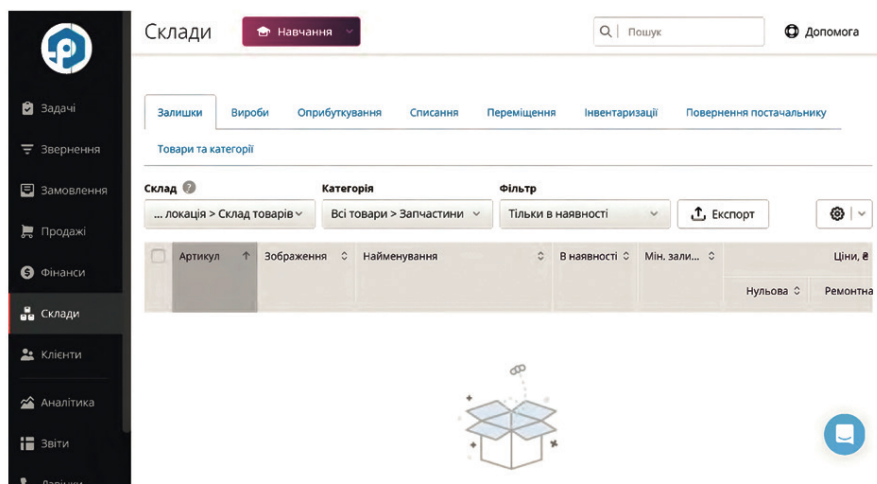


Рис. 2.21. Визначення залишків на складах у програмі RemOnline

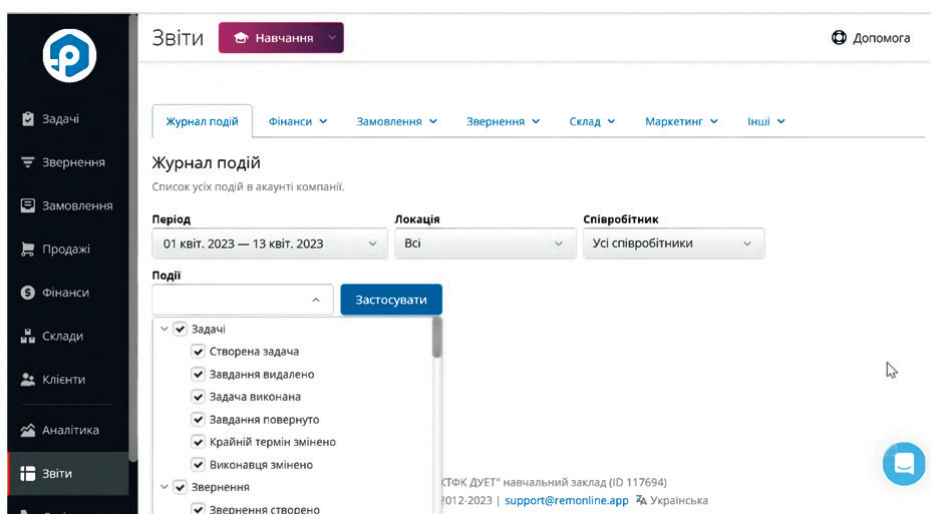


Рис. 2.22. Список подій у журналі компанії у програмі RemOnline

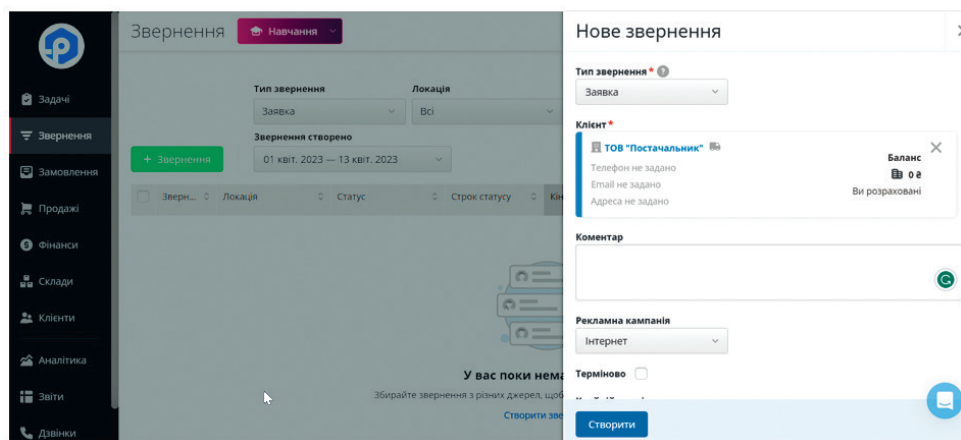


Рис. 2.23. Складання нової заявки на запасні частини у програмі RemOnline

2.3.6. Цехи по виробництву запасних частин і змінного обладнання

Планування закупівлі – один з ключових елементів життєдіяльності сучасного підприємства. Особливо гостро ця проблема стоїть на металургійних заводах, де у будь-який момент часу необхідно мати доступ до оперативної інформації про потреби підрозділів заводу в сировині, устаткуванні, матеріально-технічному оснащенні тощо, а також щодо залишків товарно-матеріальних цінностей (ТМЦ) на складах. Без впровадження бізнес-процесу планування закупки в єдиній інформаційній системі процес формування заявок на закупівлю є досить трудомістким і віднімає багато часу, оскільки заявки формуються вручну на паперових носіях. Частенько процеси узгодження заявки неприпустимо затягуються через відсутність на робочому місці уповноважених осіб або їх завантаженість, а також

неможливість паралельного виконання незв'язаних завдань; частина заявок втрачається в процесі розгляду і планування. Все разом це призводить до комерційних ризиків, непланових простоїв, невиробничих втрат часу керівників і виконавців, збільшує витрати на обробку і зберігання заявок. Як наслідок, знижується ефективність діяльності компанії в цілому. Крім того, на етапі закупівлі того або іншого виду матеріалів неможливо контролювати придбання надлишкових запасів. В результаті виникає ситуація, яка призводить до скупчення досить великої кількості неліквідів на складах і перевитрати грошових коштів, а також несвоечасної поставки ТМЦ, що вимагаються. Ця проблема виникає, в першу чергу, через відсутність єдиного інформаційного простору.



Рис. 2.24. Запасні частини

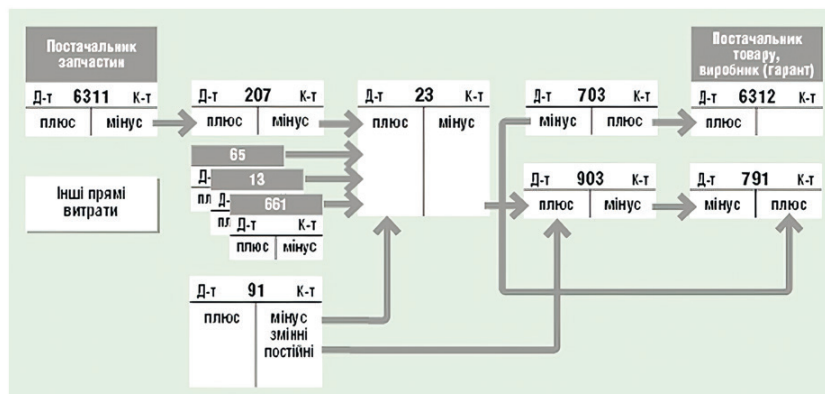


Рис. 2.25. Програма «Заявочна кампанія»

З метою більш оперативного управління процесом планування закупівель було прийнято рішення про впровадження програми «Заявочна кампанія» в єдиній інформаційній системі на базі системи SAP R/3. Стандартна функціональність створення заявок при цьому забезпечувала повну підтримку процесу централізованого планування закупівель.



У зв'язку з цим були використані два основні підходи вирішення проблеми:

- автоматична генерація заявок в системі – заявки на підставі плану виробництва;
- ручне формування заявок в системі з використанням статусів – заявки на підставі ремонтних робіт, наказів на реконструкцію, модернізацію і тощо.

Крім того, для зручності роботи із заявками була розроблена програма «Диспетчер заявок» (рис. 2.26), яка містить усі необхідні інструменти введення статусів узгоджень, коректування і обробки інформації по заявках в розрізі служб постачання і підрозділів заводу. Диспетчер дозволяє визначати і контролювати ліміти по підрозділах заводу і напрямках витрачання грошових коштів, формувати різні графіки і відстежувати виконання прийнятих заявок.

Розглянемо основні підходи рішення питання детальніше.

Заявки на підставі плану виробництва

На підставі норм витрати матеріалів і затвердженого річного і місячного планів виробництва в модулі PP (планування і управління виробництвом) системи SAP R/3, що визначається лінійним персоналом цеху, автоматично сформовані річні і відповідно місячні заявки на закупівлю сировини і матеріалів в системі SAP R/3. На підставі пакету сформованих річних заявок заводські служби можуть планувати виділення грошових коштів для відповідного підрозділу наступного року. На підставі пакету місячних заявок фахівці служб постачання планують закупівлю сировини і матеріалів на наступний місяць. Крім того, є можливість формувати додаткові заявки, які створюються автоматично на основі версії плану виробництва, з наступною можливістю ручного коригування за допомогою «Диспетчера заявок». Цей підхід забезпечує безперебійне функціонування виробничого процесу підприємства.

Заявки на підставі ремонтних робіт

Заявки підрозділяються на планові, що подаються відповідно до затверджених планів ремонту і випробувань, і термінові для проведення непланового ремонту в цілях попередження пошкоджень устаткування. Уся інформація про необхідне устаткування і запасні частини для поточних і капітальних ремонтів передається майстрами в технічне бюро цехів, де потім формуються заявки в системі SAP R/3. Плановий пакет заявок наступного року формується в системі з обов'язковим вказуванням номенклатури, обсягів та планової дати постачання, цеху-заявника, обґрунтуванням для закупівлі, напрямом витрачання грошових коштів, фінансовою позицією, що відповідає закупівельній організації. Створеним заявкам автоматично присвоюється статус «Створена» і передається в електронному вигляді за допомогою SAP-офісу в управління комплектації устаткування (УКО) або управління матеріально-технічного постачання (УМТС) на розцінку, узгодження і подальшу обробку. Після розцінки заявці присвоюється статус «Розцінена» і вона вноситься в проєкт основного або додаткового графіка постачання. Вибір виду графіка можливий за умови, що сума основного і додаткового графіків, а також проєкту основного і додаткового графіків не перевищує ліміту грошових коштів, виділеного для відповідного цеху. Усі інші заявки потрапляють в розділ «Заявки поза графіком», зокрема і термінові. За додаткового фінансування Заявки поза графіком можна ввести в графік постачання. Далі заявка направляється фахівцям служб головних спеціалістів, які здійснюють контроль за обсягами позицій, що замовляються, і плановими термінами закупівлі, і за необхідності, вносять зміни. На цьому етапі аналізуються поточні запаси на заводі заявлених товарно-матеріальних цінностей. Співробітник служби головного фахівця, що курирує заявки, приймає рішення про необхідність закупівлі і в системі за позиціями заявки проставляється статус «Погоджена». Завізовані в службах головних фахівців заявки відповідальні працівники цехів передають в управління організації ремонтів і технічної діагностики (УОРіТД) для їх узгодження і виконання в межах виділених лімітів грошових засобів. Погоджені в УОРіТД заявки відповідальні працівники цехів передають в УКО або УМТС для наступної закупівлі заявлених матеріалів або устаткування. Фахівці УКО/ УМТС після отримання затвердженої заявки на паперовому носії реєструють її в системі SAP R/3, присвоюючи номер і дату реєстрації. Після

цього заявка потрапляє в графік постачань і приймається для виконання.



На підставі створених заявок в системі SAP R/3 існує можливість формування:

- основного і додаткового графіків поставки ТМЦ по службах УКО/УМТС для забезпечення ремонтів устаткування;
- проєкту основного і додаткового графіків постачання ТМЦ по УКО/УМТС для забезпечення ремонтів устаткування;
- графіка постачання ТМЦ по УКО/УМТС для забезпечення ремонтів устаткування відповідно до затвердженого графіка.

Оцінка статусів заявок дозволяє контролювати процес їх узгодження, оцінити час обробки кожної заявки на кожному етапі, а також отримати необхідні документи проходження заявок усіх стадій узгодження.

У графіку відображаються план і факт виконання заявок на закупівлю ТМЦ з розбиттям по місяцях з вказівкою планової і фактичної вартості закупівлі.

Така послідовність контролю дозволяє простежити етапи узгодження і виконання заявок; отримати повну інформацію про наявність невиконаних і виконаних заявок по службах, підрозділах, підставах для заявки, спрямування витрачання засобів; отримати повну звітність щодо виконання заявок конкретними виконавцями закупівельних організацій і надходженню ТМЦ на заводські склади; простежити дотримування термінів закупівлі ТМЦ для забезпечення ремонтів; простежити закупівлю ТМЦ співробітниками закупівельних організацій без посилання на заявку; проаналізувати планове і фактичне розподілення фінансів.

Заявки на підставі наказів на реконструкцію, модернізацію та ін.

Цей тип заявок формується в системі SAP R/3 за ініціативи уповноважених посадових осіб підприємства. Заявки створюються з обов'язковою вказівкою номенклатури, обсягу поставки, планової дати постачання, цеху-заявника, підстави для закупівлі, напрямку витрат грошових коштів, фінансовою позиції і відповідної закупівельної організації. Ці заявки фіксуються в системі і мають статус «Створена». Друкарська форма заявки містить інформацію про запаси заявлених ТМЦ на заводі в цілому і

конкретно у цеху-заявника. Далі заявка проходить процедуру відповідних внутрішніх узгоджень на паперовому носії. Завізовані заявки передаються в служби постачання, де вони реєструються в системі SAP R/3 з вказуванням статусу «Зареєстрована». Потім заявка передається для виконання.



На підставі створених заявок в системі SAP R/3 існує можливість формування:

- відомості зареєстрованих заявок;
- відомості виконання заявок;
- прострочених у виконанні заявок.

Формування службами постачання заводу документу-замовлення на постачання з посиланням на заявку в системі SAP R/3 з наступним формуванням прибуткового ордеру є фактичним підтвердженням часткового або повного виконання заявок. Виходячи з цього, цехи-заявники можуть отримати інформацію про фактичну вартість матеріалів і їх наявність на складі. Таким чином, зв'язок «Заявка = Замовлення = Прибутковий ордер» дозволяє контролювати терміни і обсяги виконання заявок, а також дає можливість проаналізувати планові і фактичні фінансові витрати.

Впровадження програми «Заявочна кампанія» в структурних підрозділах заводу дозволяє досягти наступних позитивних результатів:

- помітно скоротити час, що витрачається працівниками на оформлення і обробку заявок, а також зниження супутніх витрат на організацію документообігу;
- підвищити оперативність узгодження заявок на закупівлю;
- отримати повну інформацію у вигляді звіту про наявність невиконаних і виконаних заявок по службах, підрозділах, підставах для заявки, напрямку витрачання грошових коштів;
- провести аналіз планового і фактичного розподілу фінансів;
- збільшити швидкість прийняття рішень по формуванню бюджету на закупівлю і розподіл грошових коштів між підрозділами заводу;
- аналізувати і контролювати роботи постачальницьких структур щодо своєчасного виконання планів закупівлі;
- зменшити запаси на складах і у разі їх скопичення визначати заявника і повідомляти його про надходження заявлених матеріалів на склад;
- зменшити запаси неліквідів на центральних складах;

- забезпечити прозорість закупівельної діяльності, збільшити достовірність звітності, виконувати моніторинг усього процесу від планування закупівлі до отримання матеріалу заявником.



Питання для самоконтролю

1. Що називається ремонтом, які вони бувають?
2. Що таке система технічного обслуговування і ремонту техніки?
3. Що таке періодичність технічного обслуговування (ремонту)?
4. Що називається ремонтним циклом?
5. Що називається запасною частиною?
6. Опишіть методи капітального ремонту.
7. Що таке ремонтна документація для проведення КР?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання,) – [текст] електронний ресурс Український інститут науково-технічної і економічної інформації (УкрІНТЕІ)
2. ДСТУ 2960-94 Організація промислового виробництва. Основні поняття Терміни та визначення ДЕРЖСТАНДАРТ УКРАЇНИ Матеріал електронної системи «Закон»)-[текст] електронний ресурс <https://zakon.isu.net.ua>
3. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення, Інститут проблем надійності машин і споруд-[текст] електронний ресурс: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25034
4. ДСТУ 3942-2000 Надійність техніки. Плани випробувань для контролю середнього наробітку до відмови (на відмову). Частина 2. Дифузійний розподіл (ГОСТ 27.506-2000) – Інститут проблем міцності Національної Академії Наук України (ТК 68)-[текст] електронний ресурс: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=93623
5. ДСТУ 9050:2020 Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять Технічний комітет стандартизації «Система розробки та постановки продукції на виробництво» (ТК 88)-[текст] електронний ресурс: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90668
6. ДСТУ EN 13306:2019 Технічне обслуговування. Термінологія технічного обслуговування (EN 13306:2017, IDT) ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»)
7. ДСТУ ГОСТ 24907:2009 Лічильники механічні та електромеханічні. Загальні технічні умови (ГОСТ 24907-81) Міністерство приладобудування, засобів автоматизації і систем управління СРСР (Мінприлад)
8. ДСТУ EN 60529:2018 Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP) (EN 60529:1991; A1:2000; A2:2013; AC:1993; AC:2016, IDT; IEC 60529:1989; A1:1999; A2:2013; Cor 2:2015, IDT), Технічний комітет «Безпека промислової продукції та засоби індивідуального захисту працюючих» (ТК 135)
9. ДСТУ ГОСТ 2.610:2006. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання експлуатаційних документів (ГОСТ 2.610 – 2006, IDT) ДП «Український науково-дослідний та навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДУЦ»)
10. Бельмас І.В. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Надійність та довговічність обладнання»[Текст] : для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освіт.-проф. програмою Галузеве машинобудування / І.В. Бельмас ; Дніпровський держ. Техн.ун-т. – Кам'янське, ДДТУ, 2017. – 38с.
11. Жук А.Я. Технічне обслуговування металургійного обладнання [Текст]: навч. посіб. / А.Я. Жук, Г.П. Малишев, Н.К. Желябіна, К.В.Таратута. – Київ : Кондор, 2017. – 288 с.
12. Жук А.Я. Ремонт металургійного обладнання [Текст]: навч. посіб. / А.Я. Жук, Г.П. Малишев, Н.К. Желябіна, К.В.Таратута. – Київ : Кондор, 2016. – 236 с.
13. Кравченко В. М. Технічне діагностування механічного обладнання [Текст]: підручник / В.М. Кравченко, В.А. Сидоров , В.Я.Седуш. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2007. – 447 с.
14. Сідашенко О.І. Ремонт машин та обладнання [Текст]: підруч. / О.І. Сідашенко [та ін.] ; за ред. проф. О.І. Сідашенко, О.А. Науменка. – Київ : Агроосвіта, 2015. – 665с.
15. Термічна обробка сталі [Електронний ресурс] : Курс матеріалознавства для інженерів / Мат. це просто. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=G7Ct0jrrHdU> . – Назва з екрана. – Мова укр.
16. Хітров І.О., Гавриш В.С., Ремонт машин і обладнання [Текст]: навч.посібник / І.О. Хітров, В.С. Гавриш ; Нац. ун-т водного госп-ва та природокористування. – Рівне : НУВГП, 2012. – 184с.
17. Як виміряти шорсткість поверхні Ra <https://www.youtube.com/watch?v=cV2Fgmcbll0>
18. Кавітація у трубопроводі (модель) <https://www.youtube.com/watch?v=Y-WmtDm1p68>

19. Термічна обробка <https://www.youtube.com/watch?v=G7Ct0jrrHdU>
20. Практичний елемент виконання завдання по темі «Наплавлення»
21. [Електронний ресурс] = Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=yFfGavLUeIE>
22. Чи є межа технологічного прогресу? – Клемент бачив
<https://futuro.in.ua/videos/141-chy-isnuye-mezha-naukovotekhnichnoho-prohresu.html>

Навчальне видання

Л. Іванова

**ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТ І МОНТАЖ МАШИН
ТА АГРЕГАТІВ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Навчальний посібник

Українською мовою

Редактор Н. Цибенко
Комп'ютерна верстка та дизайн Л. Шишкіна

Умов друк. арк. 5,1

Науково-методичний центр ВФПО
вул. Смілянська, 11, м. Київ
тел. 242-35-68

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 1310