

## ЛЕКЦІЯ 17-18 ОСОБЛИВОСТІ БАЛАНСУВАННЯ ГНУЧКИХ РОТОРІВ.

Для ефективного діагностування технічного стану машин необхідно не просто констатувати факт відмови, а перш за все якомога раніше виявити появу того або іншого дефекту і передбачити напрацювання машини до його гранично допустимого розвитку, тобто визначити довговічність машини.

Якщо виключити з розгляду виходи з ладу машин унаслідок різких нерозрахованих перевантажень, природних дій, що не підлягають контролю, грубих помилок під час проектування чи експлуатації або несприятливого поєднання перелічених чинників, то решту випадків настання граничних станів можна віднести переважно до однієї з двох великих груп.

Першу групу утворюють граничні стани, що настали в результаті поступового накопичення в матеріалі розсіяних пошкоджень, що призводять до зародження і розвитку макроскопічних тріщин. Часто зародки і вогнища таких тріщин, викликані недосконалістю технологічних процесів, містяться в об'єкті до початку його функціонування. Причиною виходу об'єкта з ладу є розвиток тріщин до небезпечних або небажаних розмірів. Якщо тріщина не виявлена своєчасно, її розвиток може призвести до аварійної ситуації.

Друга група складається з граничних станів, пов'язаних з надмірним зносом деталей, що труться, і поверхонь, що знаходяться у контакті з робочим або навколишнім середовищем.

Вивчення фізико-хімічних процесів, здатних призвести до відмов, створює можливість:

- науково обґрунтованого вибору найбільш ефективних конструктивно-технологічних шляхів підвищення довговічності машин;*
- ап'юріорної оцінки довговічності, що відповідає дійсній природі явищ;*
- розроблення науково обґрунтованих методів прискорених випробувань за визначенням довговічності, скорочення обсягу необхідних випробувань;*
- прогнозування довговічності кожного екземпляра елемента або пристрою на підставі дослідження його певних фізичних властивостей.*

Так, наприклад, для різноманітних за конструкцією і призначенням роторних машин, що випробовують вібраційні навантаження, особливо велика роль втомних пошкоджень і розвитку тріщин для деталей і вузлів, що випробовують вібраційні навантаження.

Теоретичною основою для прогнозування ресурсу в умовах накопичення пошкоджень і розвитку тріщин служить механіка руйнування. Цей розділ механіки матеріалів і конструкцій знаходиться зараз у стані інтенсивного розвитку, головний напрям якого - механіка тіл, що містять тріщини.

Тріщини можуть бути стійкими, їх ріст можна контролювати і прогнозувати. Щоб обґрунтовано робити висновки про можливість експлуатації технічних об'єктів з механічними пошкодженнями, потрібно і далі розвивати механіку руйнування.

Завдання полягає в тому, щоб знайти закономірності росту тріщини при різних властивостях матеріалу і різних процесах навантаження, а також визначити умови,

при яких цей ріст стійкий, тобто малі прирости навантажень або малі зміни розмірів тріщин не приводять до їх інтенсивного зростання.

Насправді фізичний процес руйнування складається з двох стадій. Перша стадія - накопичення розсіяних пошкоджень - може становити значну частину загального ресурсу (за різними даними - від 50 до 90 %). Якщо в деталі або елементі не було початкових технологічних тріщин, то зародження першої макроскопічної тріщини є результатом накопичення розсіяних пошкоджень. Процес накопичення пошкоджень продовжується і після того, як почався ріст тріщини, причому ці процеси взаємодіють між собою.

Виявляючи дефекти в процесі діагностування технічного стану машин, необхідно одночасно враховувати всі чинники, що призводять до того або іншого виду руйнування, оскільки один і той самий дефект в одних випадках може викликати руйнування, а в інших - ні.

Так, наприклад, усі машинобудівні матеріали містять дефекти (неоднорідність структури і складу, залишкове напруження, тріщини у зварних швах і т. п.), багато з яких настільки малі, що їх важко виявити звичайними методами дослідження матеріалів без руйнування зразка. За несприятливих умов навантаження та експлуатації дефекти можуть збільшуватися, призводячи до відмов.

Завдання полягає в тому, щоб, знаючи фізичну природу руйнування, забезпечити конструювання машин зі встановленою довговічністю. Так, наприклад, бажано за зовнішнім виглядом зруйнованої деталі зробити правильний попередній висновок про причини руйнування, особливо про причини відмов, пов'язаних зі зломом деталей, щоб уникнути його надалі.

Працездатність деталей і елементів багатьох машин лімітується також їх недостатньою зносостійкістю, а при підвищених температурах і повзучістю.

Багато фізико-хімічних процесів, пов'язаних з виникненням відмов, є процесами, що термічно активуються, тобто можуть проходити тільки при певному рівні теплової енергії, причому інтенсивність процесів збільшується під час нагрівання тіла. Теплові процеси відіграють значну й іноді вирішальну роль у зміні властивостей і характеристик елементів, їх руйнування і старіння.

За певних температурно-швидкісних умов унаслідок значного падіння пластичності в металевих матеріалах виявляється схильність до крихкого руйнування.

При класифікації за характером фізико-хімічних процесів внутрішній механізм процесів, що передують відмові і порушенню працездатності машини, може бути детально проаналізований тільки у кожному конкретному випадку для даного типу машини, заданих умов експлуатації і режимів роботи.

Як найбільш загальні фізико-хімічні процеси, що проходять у матеріалах і передують відмові, виділяють такі:

- *дифузійні процеси, що проходять у твердому тілі і на його поверхні;*
- *переміщення і скупчення точкових дефектів і дислокацій у кристалічних твердих тілах;*
- *флуктуаційний розрив міжатомних зв'язків у металах і сплавах;*
- *розрив хімічних зв'язків ланцюгів макромолекул полімерних матеріалів;*
- *сорбційні процеси та ін.*

При розгляді фізичних явищ і процесів, що обумовлюють виникнення відмов деталей і вузлів, потрібно визначити оптимальний ступінь деталізації фізичного

аналізу, враховуючи, що інтерес становлять макроскопічні характеристики стану матеріалів, з якого вони виготовлені.

У сучасній технічній фізиці, зокрема фізиці твердого тіла, багато складних процесів, зокрема процеси тривалого руйнування і старіння матеріалів, ще не повністю вивчені. Щодо механізму деяких процесів і впливу на них тих або інших чинників є різні гіпотези. Крім того, у зв'язку із складністю фізико-хімічних процесів зміни властивостей матеріалів число параметрів, які необхідно враховувати під час побудови моделей цих процесів і фізичних моделей відмов, зазвичай дуже велике. Все це викликає необхідність у кожному випадку певних обмежень і допущень.

Вивчення фізико-хімічних процесів, здатних призвести до відмов, створює можливість:

- науково обґрунтованого вибору найбільш ефективних конструктивно-технологічних шляхів підвищення довговічності машин;
- ап'юріорної оцінки довговічності, що відповідає дійсній природі явищ;
- розроблення науково обґрунтованих методів прискорених випробувань за визначенням довговічності, скорочення обсягу необхідних випробувань;
- прогнозування довговічності кожного екземпляра елемента або пристрою на підставі дослідження його певних фізичних властивостей.

Знання фізичної природи відмов, урешті-решт, дозволяє цілеспрямовано проводити пошук дефектів, визначати ступінь їх критичності і науково обґрунтовано визначати довговічність машин в процесі діагностування їх технічного стану.

Досвід показав, що серед різноманітних методів діагностування найбільш результативним є вібродіагностування, що дозволяє оцінювати стан машини за наслідками контролю вібрацій, які супроводжують роботу машини.

Вібрація є процесом, який не можна безпосередньо зміряти. Вимірюванню підлягають параметри цього процесу. При цьому потрібно вибирати такі параметри, які певним чином корильовані з параметрами, що характеризують процес деградації технічного стану машини. При цьому перша група параметрів, що описують вібропроцес, називається *діагностичними ознаками*, а друга така, що характеризує процес деградації машини, називається *структурними параметрами*. Значення структурних параметрів наводяться в нормативно технічній документації (НТД) на машину. Вибір же діагностичних ознак є істотною проблемою і вимагає вивчення особливостей генерування вібрацій кожним із типів машин.

Найважливішими завданнями при цьому є побудова адекватної динамічної моделі машини і встановлення зв'язку між параметрами моделі і характеристиками вібрацій, що генеруються реальною машиною, і поширення цих коливань у машинах.

Для вирішення проблем динаміки машин з початку 60-х років минулого століття почате розроблення комп'ютерних програм, в яких досліджуваний об'єкт представляється системою абсолютно твердих тіл або тіл, що деформуються. Тіла при цьому пов'язані кінематичними парами різних типів і силовими елементами.

На ринку програмного забезпечення даних напрямок представлений досить великим числом універсальних програм, наприклад, *MSC.ADAMS*, *LMS.DADS*, *SYM-PACK*, а також спеціалізованих програм, орієнтованих на конкретні об'єкти. У Росії помітного поширення набув програмний комплекс «Універсальний механізм» (УМ),

розроблений в лабораторії обчислювальної механіки Брянського державного технічного університету. Комплекс включає універсальне ядро і ряд спеціалізованих модулів для моделювання динаміки різноманітних машин, модулі оптимізації, розрахунку довговічності та ін. Програмний комплекс має інтерфейси з іншими програмними продуктами. Так, наприклад, *модуль моделювання пружних тіл* підтримує імпорт даних з *ANSYS* і *MSC.NASTRAN*, *модуль імпорту 3D-моделей з CAD-программ* підтримує *Solidworks*, *КОМПАС*, *Autodesk Inventor* і *Pro/e*, *модуль UM Control* забезпечує імпорт моделей з *Matlab/simulink*.

Комп'ютерне моделювання дозволяє оптимізувати обсяг вібраційного контролю та подальше діагностування на основі цього технічного стану машин.