

УДК 621.396.6.019.3

А.А. Жадько, О.Л. Кайдик

Луцький національний технічний університет

ФІЗИКА ВІДМОВ ОСВІТЛЮВАЧА ДЛЯ АПАРАТУРИ ІЗ СВІТЛОВОДАМИ

У роботі розглянуто питання фізики відмов основних дефектів освітлювача марки ОС-150-01-М, та встановлено зв'язок між відмовами та фізико-хімічними процесами, які безпосередньо впливають на його термін служби.

Вступ. Будь-якій стадії життєвого циклу об'єкту притаманним є наявність або поява дефектів, які, у свою чергу, негативно впливають на його кінцеву якість та надійність [1]. Тому, проблема своєчасного визначення, пошуку та усунення дефектів завжди була пріоритетною для підтримання та відновлення працездатності об'єкту, який експлуатується.

Основним обладнанням яке застосовують для створення освітлення на вихідних торцях медичних приладів є освітлювач. Даний прилад застосовують в якості проксимального джерела світла в різноманітних оптичних приладах (ендоскопічних, офтальмологічних, тощо). Освітлювач для апаратури із світловодами дає можливість плавно регулювати освітленість на об'єкті, який досліджується, за необхідності забезпечує подачу рідини (води) або повітря через ендоскопічний прилад на об'єкт досліджування.

Постановка завдання. Оптимальним, з точки зору, експлуатаційної технологічності буде така конструкція об'єкту, яка за заданої надійності в процесі його експлуатації матиме мінімальне число відмов та

потребуватиме мінімальних затрат на ремонт, відновлення та обслуговування [2].

Найбільш важливим значенням під час проектування, виробництва та експлуатації сучасних освітлювачів для апаратури із світловодами набуває вірна оцінка фізичної та техніко-економічної довговічності.

Своєчасне визначення, пошук та усунення дефектів дозволить подальшу (правильну) експлуатацію таких приладів із заданим або необхідним показником надійності.

Актуальність. Більшість фізико-хімічних процесів, які пов'язані із виникненням відмов, є термічно-активованими процесами, тобто протікають під впливом визначеного рівня теплової енергії, при чому інтенсивність процесів збільшується під час нагрівання елемента. Теплова енергія в багатьох випадках відіграє вирішальну роль у зміні властивостей та характеристик елементів, процесах їх старіння та руйнування.

Основна частина. Надійність освітлювачів для апаратури із світловодами в першу чергу залежить від їх якості. В даному випадку до критеріїв якості необхідно віднести його термін служби, стійкість до умов і чинників зовнішнього середовища, якості електроенергії та механічної дії на нього.

Проаналізувавши конструкцію освітлювача марки ОС-150-01-М [3] та ознайомившись з особливостями його експлуатації виділимо наступні блоки у яких найчастіше виникають відмови: електричний, механічний та оптичний.

Наступним кроком для встановлення типових відмов, для кожного із блоків, необхідно виділити типові несправності, їх зовнішні прояви та додаткові ознаки. Діагностування та прогнозування даних параметрів дозволить збільшити терміни служби елементів, деталей та їх вузлів.

Слід враховувати, що термін служби приладу та його елементів буде вищим, у порівнянні із джерелом світла, яке використовується у ньому.

Основним елементом конструкції освітлювача ОС-150-01-М є галогенна лампа, яка, у свою чергу, і є джерелом термічно-активних процесів, оскільки температура розжарювання її спіралі знаходиться у межах 3000 К. Аналізуючи взаємодію теплової енергії, яка випромінюється джерелом освітлювання, із елементами конструкції приладу, необхідно звернути увагу на фізичні аспекти відмов, які негативно проявляються під час експлуатації даного обладнання.

Закономірності протікання фізико-хімічних процесів визначаються, як правило, тим, що у них беруть участь тільки ті молекули, атоми та електрони речовини, які володіють енергією, яка є необхідною для подолання енергетичного бар'єра, який перешкоджає протіканню процесу. Мінімальне значення енергії часток, яка є необхідною для подолання такого бар'єру прийнято називати енергією W_a активації даного процесу.

Швидкість V_n фізико-хімічних процесів, які протікають в матеріалах, пропорційна концентрації n_a активних часток, які володіють енергією W , що перевищує енергію активації процесу та експотенційно залежить від температури T [4]:

$$V_n = V_o \frac{n_a}{n} = V_o e^{-\frac{W_a}{kT}}, \quad (1)$$

де n – загальна концентрація часток; k – стала Больцмана; V_o – коефіцієнт, який визначається механізмом конкретного процесу.

Із зменшенням енергії активації та ростом температури швидкість протікання процесу збільшується.

Термічна активація часток в матеріалі відбувається за рахунок енергії коливання атомів, яка викликана тепловим

рухом. Найбільш загальним механізмом поглинання теплової енергії під час нагрівання матеріалу є енергія коливання атомів. Флуктуації енергії коливань атома у часі відносно середнього значення енергії обумовлені випадковою взаємодією атомів між собою. Ймовірність того, що внаслідок флуктації енергії коливань атома стане рівною енергії активації даного процесу або перевищить її, збільшується із зростанням температури матеріалу. Хімічні реакції, які спричиняють зміну матеріалу елементів, у багатьох випадках також є термічно-активованими. В процесі хімічного перетворення, який відбувається під час зіштовхування часток, приймають участь лише ті частки, які володіють кінетичною енергією, яка є неменшою за енергію активації.

Необхідно зауважити, що активація хімічних реакцій відбувається також під дією інших видів енергії.

Для усіх складових елементів конструкції освітлювача для апаратури із світловодами притаманними є елементарні дефекти, які впливають на їх макроскопічні властивості та стан. Процеси виникнення відмов в елементах часто визначають механізмом утворення та кінетикою структурних дефектів, тобто процесами їх переміщення та скупчення.

Зауважимо, що кожен тип дефектів має свою енергію активації, за якої утворюються дефекти. Утворення

дефектів та їх переміщення у твердому тілі, під дією тепла та інших зовнішніх чинників, призводить до деформації елементів та їх подальшому руйнуванню (зміна електрофізичних властивостей матеріалів).

Багато процесів у матеріалах пов'язані із дифузією – процесом переміщення атомів речовини в об'ємі твердого тіла та за його поверхнями. Дифузія у значній мірі визначає кінетику фізико-хімічних процесів, яка обумовлює

виникнення відмов (руйнування матеріалів, старіння, корозію, тощо).

Суттєвий вплив на надійність елементів освітлювача чинять сорбційні процеси. Вони включають у себе процеси адсорбції – поверхневого поглинання та абсорбції – об’ємного поглинання речовини. У результаті сорбції атмосферної вологи, газів та рідин в елементах розвиваються фізико-хімічні процеси, які й викликають погіршення їх властивостей та призводять до відмов.

Механічне руйнування елементів конструкції приладу являє собою термо-активований процес, який розвивається у механічно-напруженому матеріалі у часі з моменту прикладення до нього навантаження (руйнування буде безактивованим процесом лише за дуже низьких температур або під час дії напружень, які рівні границі теоретичної міцності).

Час t_p механічної деформації та руйнування деталей визначається властивостями матеріалів, напруженням σ , яке викликане навантаженням, та температурою T . Зв’язок даних параметрів визначається наступним виразом температурно-часового зв’язку міцності [4]:

$$t_p = \tau_o e^{\frac{W_o - \chi\sigma}{RT}}, \quad (2)$$

де R – універсальна газова стала; W_o – початкова енергія активації процесу руйнування при $\sigma=0$, стала для даного матеріалу у широкій області температур та не залежить від обробки матеріалу; $W_o - \chi\sigma$ – енергія активації руйнування ($W_{a.p}$); τ_o – параметр, який співпадає із періодом власних теплових коливань атомів у кристалічній ґратці твердого тіла ($\tau_o=10^{-12} \div 10^{-14}$ с), стала для усіх матеріалів та не залежить від виду обробки і умов навантаження; χ – характеристика чутливості матеріалу до напруження (величина χ є кількісною мірою міцності матеріалу).

Як видно із наведеного рівняння, із зростанням температури та початкового напруження час t_p швидко зменшується. Руйнування матеріалу відбувається при напруженнях, які є меншими границі міцності. Напруження руйнування залежить від часу дії прикладеного навантаження і температури матеріалу.

Локальний характер руйнування твердих тіл свідчить про те, що механізм руйнування та довговічність матеріалу визначаються поступовим накопичуванням локальних дефектів: деформацій та тріщин у матеріалі. Під час тривалого впливу навантаження мікротріщини поступово збільшуються до критичного розміру в результаті флуктуаційного розриву зв'язків у вершині тріщини. На деякій стадії руйнування з'являється самоприскорений, лавиноподібний характер росту тріщин. Це пояснюється тим, що збільшення довжини тріщини під впливом постійного навантаження призводить до поступового збільшення напруження σ , що у свою чергу збільшує швидкість росту тріщини. Локальні дефекти матеріалу, створюючи локальні перенавантаження, стають при цьому центрами руйнування. Зовнішні чинники, які впливають на матеріал суттєво впливають на значення χ і тим самим на час t_p .

Слід зазначити, що процеси руйнування матеріалів суттєво залежать від фізико-хімічної взаємодії з оточуючим середовищем. В конструкції освітлювача марки ОС-150-01-М передбачено ємність з компресором для подачі, під тиском 19,9 кПа, води та інших лікарських препаратів у середину досліджуваної ділянки. Вплив усіх активних середовищ розпочинається з адсорбції їх елементами конструкції. Адсорбовані речовини впливають на механічні властивості усіх матеріалів без виключення. Це пояснюється тим, що міцність матеріалів пропорційна їх поверхневій енергії. Тому чинники, які зменшують

вільну поверхневу енергію (утворення нових поверхонь) спричиняють зниження міцності. Особливий вплив на міцність матеріалів чинять поверхнево-активні речовини.

Зниження міцності елементів під дією таких речовин обумовлено попаданням їх до основи мікротріщини на поверхні матеріалів, у результаті чого створюється більший тиск, який сприяє до їх збільшення. В результаті механічних навантажень на елемент у ньому постійно накопичуються локальні руйнування, що в кінцевому результаті зменшує час, який залишився до його повного руйнування.

Елементи у робочому стані зазнають механічних навантажень, які викликані температурними напруженнями в його конструкції, а також за рахунок власних електричних полів, вібрацій та прискорень, тому підвищення робочої температури елементів зменшує час руйнування.

На надійність механічних елементів освітлювача, які містять у собі консистентні змазки, суттєво впливають процеси сублімації (випаровування) матеріалів за особливих умов експлуатації. Випаровування твердого тіла відбувається в результаті збільшення енергії теплового руху атомів до енергії активації процесу сублімації, значення якої відповідає значенню, яке є необхідним для подолання сил зв'язку між частками твердого тіла та їх відриву від поверхні.

Під час випаровування матеріалу кристалічна ґратка повністю руйнується. Швидкість руйнування залежить від підведеної енергії, тиску, структури та дефектів матеріалу.

Висновки. Діагностування та прогнозування відмов дає можливість своєчасно зреагувати на виникнення дефектів у освітлювачі для апаратури із світловодами. Поява таких відмов дає можливість встановити їх фізичну суть та розробити необхідні методики для їх усунення.

Із збільшенням температури джерела освітлення освітлювача марки ОС-150-01-М інтенсивність відмов експотенційно зростає.

На практиці відмова елемента визначається багатьма термічно-активованими процесами. При цьому експотенційний характер залежності інтенсивності відмов від температури зберігається.

У разі виникнення відмови необхідно провести поточний ремонт освітлювача з метою відновлення його працездатності.

Література:

1. Яхьяев Н.Я. Основы теории надежности и диагностики: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н.Я. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М.: Издательский центр “Академия”, 2009. – 256 с.

2. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. – М. Энергия, 1977. – 656 с.

3. Осветитель для аппаратуры со светловодами переносной ОС-150-01-М. Паспорт тА2.427.000 ПС.

4. Никулин С.М. Надежность элементов радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1979. – 80 с. (Массовая радиобиблиотека; Вып. 987)