

Kerámia fémhalogén lámpa zománc beforrasztása után keletkező hőfeszültségek végeselemes vizsgálata

Koltai Zoltán¹, Dr. Váradi Károly²

¹GE Consumer Products, Budapest,

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépszerkezettani Intézet

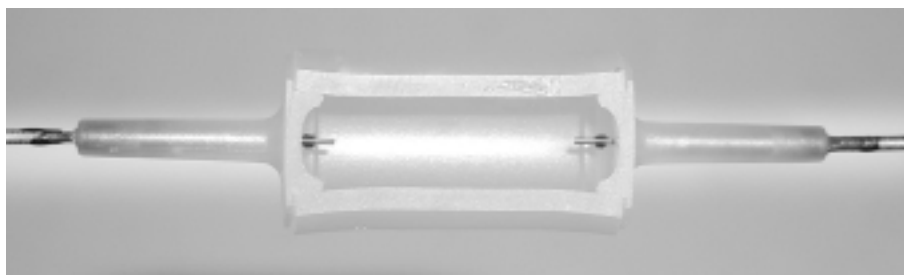
Abstract

The high intensity discharge lamps are advanced, highly efficient light sources where the light is produced by electric discharge at higher than atmospheric pressure. One type of the high intensity discharge lamps is the Ceramic Metal Halide (CMH) lamp. The CMH lamp is a newly developed lightsource with increasing market demand – primarily because of its excellent spectral attributes. The arc-tube is made of translucent polycrystalline alumina. The electric power is introduced into the arc-tube by two high melting temperature metal electrodes fastened into the leg of the arc-tube by seal glass. Occasionally during lamp manufacturing after the high temperature sealing process crack appear over the sealing area. The aim of this analysis is to calculate the residual thermal stress conditions in that critical area.

Keywords: finite element analysis, thermal stress, ceramic metal halide, CMH.

Bevezetés

A nagynyomású kisülő lámpák korszerű, igen magas fényhasznosítású fényforrások, amelyekben a fény keletkezése villamos kisülés formájában jön létre, miközben a kisülő térben lévő nyomás jellemzően lényegesen magasabb a légköri nyomásnál (1. ábra).



1. ábra

A kerámia fémhalogén lámpa égőttestje a beforrasztott elektródákkal

A nagynyomású kisülő lámpák egyik típusa az ún. kerámia fémhalogén lámpa (Ceramic Metal Halide, CMH). A CMH lámpák néhány éves múltta visszatekintő, új fejlesztésű termékek, amelyek iránt – elsősorban a kibocsátott fény előnyös spektrális tulajdonságai miatt – rohamosan nő a piaci érdeklődés. A fejlesztés legújabb iránya a nátriumlámpát helyettesítő nagy wattértékű CMH lámpa. Ezek jellegzetessége, hogy az ívkamra (égőttest) anyaga magas olvadáspontú fénoxid kerámia, az ívkisülésben résztvevő adalékanyagok pedig különböző fémhalogenidek és elemi higany. Az elektromos áram fém elektródákon át jut be az égőttestbe. Az elektródákat zománcüveg rögzíti a kerámia kisülő-csőhöz, egyben hermetikus lezárást biztosítva az égőttest számára. A zománcüveg beforrasztása magas hőmérsékleten megy végbe. Lehűlés során előfordul, hogy repedések figyelhetők meg a beforrasztási zónában (2. ábra).

Ennek az elemzésnek a célja, hogy meghatározza a maradó feszültségi állapotot az égőttest lehűlése utáni állapotában, annak érdekében, hogy feltárjuk az esetenkénti repedések kialakulásának mechanizmusát és javaslatot tegyünk azok megelőzésére. A számításokhoz COSMOS/M végeelem modellező szoftvert [1] használtunk.

Feltevés, egyszerűsítések

Az égőtestet tengelyszimmetrikus rendszerként kezeltük. Kiindulásként az egész modellt négy csomópontos területekből építettük fel, még az elektróda spirált is. Ez az egyszerűsítés megkönnyítette a nagy területek hálózását és lehetővé tette a különböző alternatívák kidolgozásakor a geometria rugalmas módosítását.

A kritikus területek azonban további részletezést igényelnek, pontosabb geometriai felépítéssel és ehhez finomabb hálószerkezettel. A részletesebb modell mikro-modell, a nagyobb léptékű makro-modell (3. ábra). Mivel az elemzés célja, hogy felderítse, mi a hatása az egyes tényezőknek a feszültségi állapotra, különböző geometriájú modelleket építettünk fel. A tényezők a következők voltak:

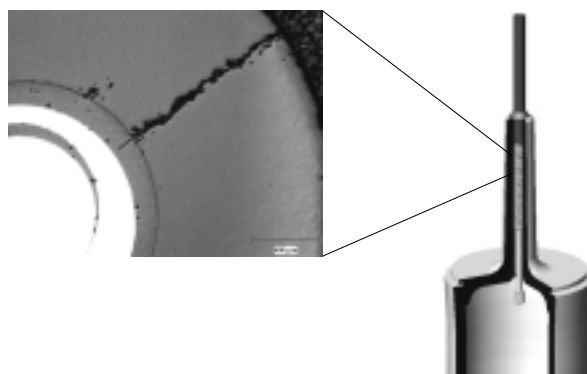
- A zománcréteg vastagsága,
- A zománc beforrasztás hossza,
- Az elektróda spirál menetemelkedése.

A tengelyszimmetrikus geometria lehetővé tette síkbeli elemek használatát, ez jelentősen csökkentette az elemek számát, így javította a modell kezelhetőségét.

A General Electric Központi Kutatóintézetének méréseit [2] vettük alapul az anyagjellemzőkre vonatkozóan. A lineáris hőtágulási együtthatóra vonatkozóan hőmérsékletfüggő anyagjellemzők is rendelkezésre álltak. A mért jellemzők közül a következők szerepelnek a modellben:

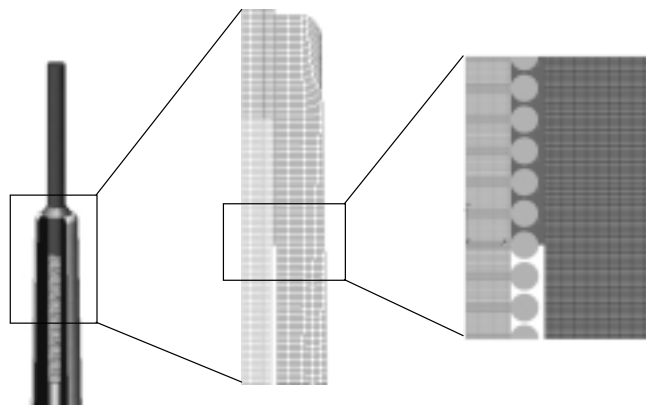
- Lineáris hőtágulási együttható,
- Rugalmassági modulusz
- Poisson-tényező

A modell csak rugalmas alakváltozást feltételez. A lehülés kezdetét feszültségmentes állapotnak tekinti. A makro-modell esetében az egyetlen terhelés a lehülést modellező hőmérsékletkülönbség, illetve az elhagyott égőtestrészeket helyettesítő 0 elmozdulás az alsó kerámia csomópontokon. A mikro-modell esetében a hőterhelésen túl elmozdulás illesztési technikával átvittem a makro-modell elmozdulás eredményeit is a peremen elhelyezkedő csomópontokra. Ehhez interpolálnom kellett az eredményeket a két modell közötti csomópont-sűrűség különbsége miatt.



2. ábra

A beforrasztási zónában repedések keletkezhetnek a lehülés során



3. ábra

A makro-modell finomítására szolgáló kisebb léptékű mikro-modell

Eredmények, következtetések

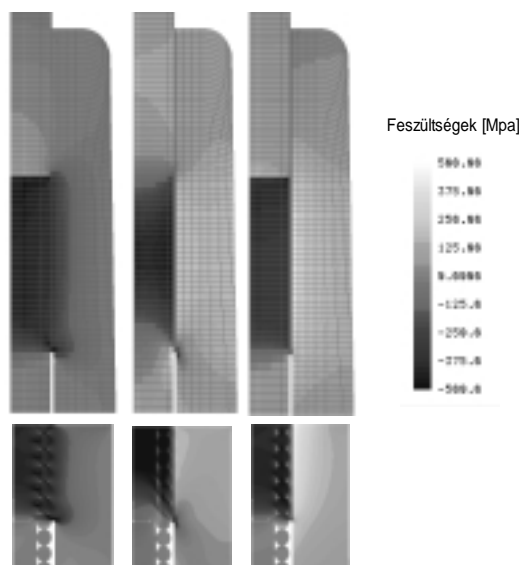
A kerámia, mint ahogyan a zománcüveg is, érzékeny a húzófeszültségre, míg nyomásra nagyobb feszültséget képes elviselni. A vizsgálat szempontjából tehát elsősorban a húzófeszültség az érdekes.

Az égőtestet felépítő anyagok lehűtése során mindegyik a rá jellemző hőtágulási együtthatónak megfelelően húzódik össze. Ezek eltérése okozza a hőfeszültségeket. Az elektróda molibdén része (a spirál) kisebb hőtágulási együtthatóval rendelkezik, mint a kerámia. Ezzel indokolható, hogy a kerámia igyekszik gyorsabban összehúzódni a lehülés során, mint a molibdén, nyomó igénybevételt hozva létre a molibdén spirálban, amely kölcsönhatásként húzó feszültséget okoz a kerámiában. Ez igaz tengely irányban (σ_y) és érintőleges irányban is (σ_z) (4. ábra). Radiális irányban csak nyomó feszültség keletkezik, amely a külső átmérő felé közeledve nullára csökken. A zománcüveg rugalmassági modulusza jelentősen kisebb, mint a kerámiáé vagy a molibdéné. Ennek következménye, hogy a zománcüveg feszültségcsökkentő réteggént működik.

A különböző geometriával készült modellek összehasonlítása alapján a vastagabb zománcreteg kedvezőbb a feszültségi állapot szempontjából, míg a beforrasztási hossz és a spirál menetemelkedése nincs jelentős hatással a feszültségi és alakváltozási állapotra.

Összefoglalva a vizsgálat eredményét

- A makro- és mikro-modell összhangban van a számított feszültségi eredmények szempontjából, az egyszerűbb makro modell tehát alkalmazható további számításokhoz. Ugyanakkor a molibdén spirál kis környezetének feszültségi elemzésére csak a mikro-modell alkalmas.
- A modell alapján a rendszer nem érzékeny a beforrasztási hossz és a spirál menetemelkedés paramétereire.
- A leghatásosabb módszer a feszültségek csökkentésére a zománcreteg vastagságának növelése.



4. ábra
A lehűlés hatására ébredő
radiális (σ_x), axiális (σ_y) és gyűrűfeszültségek (σ_z)

Irodalom

- [1] Documentation of COSMOS/M 2.7 FiniteElement Analysis System, Structural Research & Analysis Corp. (SRAC), 2001
- [2] Research Report, Ceramics Laboratory, GE – Corporate Research & Development, Niskayuna, NY, USA, 1999.
- [3] Crystalline Phases in CMH Seals, Miklos Gyor, General Electric, Budapest, 1999.
- [4] Seal Characterization by SEM/Image Analysis, Miklos Gyor and Julia Meszaros, General Electric, Budapest, 1999.