

Korszerű vizsgálati eljárások az ipari gyakorlatban

# Feszültségoptikai mérések

Ahhoz, hogy egy berendezés a tervezési élettartamának megfelelően és megbízhatóan működjön, számos ellenőrzésre van szükség a tervezési folyamat mennyiségi szakaszában. Az optikai feszültségvizsgálat rétegbevonatos mérési eljárása hatékony és viszonylag olcsó módszer.

■ Borbás Lajos PhD

Méréseinket elvégezhetjük valóságos szerkezeteken, alkalmas feltételekkel elkészített (méretarányos, többnyire egyszerűsített) modelleken (az ezeken mért eredmények a valóságra a modelltörvények alkalmazásával számíthatók át) vagy próbatesten (például anyagjellemzők meghatározása). A szerkezet tönkremeneteli valószínűségének csökkentéséhez a szükséges méréseket, vizsgálatokat a gyártási költségek minimalizálására tekintettel a tervezés, gyártás lehető legkorábbi szakaszában célszerű elvégezni. A megfelelő gondossággal elvégzett számítási (numerikus modellezési) eljárások, valamint az alkalmasan megválasztott mérési technikák egymást kiegészítő alkalmazásával (hibrid módszer) határozható meg az alkatrészek, szerkezetek pontos igénybevételei, terhelések hatására kialakuló nyúlás- és feszültségeloszlásai, deformációi, rezgései, lengései. Mit várunk a kísérleti mechanika eljárásaitól? Feszültségeloszlások vizsgálatát, határfeltételek meghatározását, stabilitási kérdések vizsgálatát, maradó feszültségek mérését és meghatározását, törésmechanikai ellenőrzéseket, a törésmechanika egyes paramétereinek meghatározását, a meghibásodások okainak feltárását, a szerkezetekre ható külső terhek meghatározását.

Vizsgálódhatunk modelleken vagy tényleges szerkezeteken, melyek kiterjedhetnek teljes felületekre, azok egy részfelületére, pontszerű környezetekre; mindezt 2D-s vagy akár 3D-s környezetben elvégezhetjük. Célunk elmozdulások, nyúlások, deformációk (adott esetben rezgések, lengések mérésére, amely terület érintése nem célja jelen összeállításnak). Vizsgálatainkat egyaránt elvégezhetjük statikus, valamint időben változó terhelések esetén.

## Optikai feszültségvizsgálat mérési eljárása

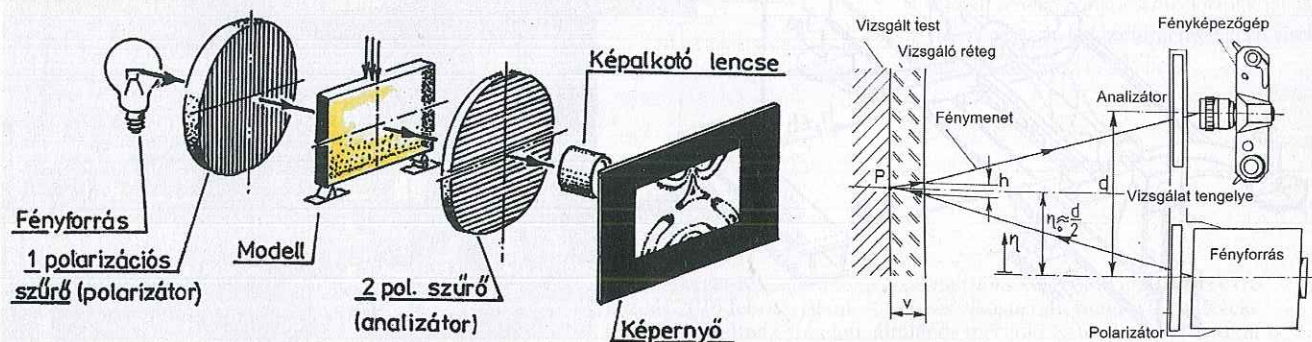
Az optikai feszültségvizsgálat mérési eljárása az optikailag átlátszó, homogén izotrop anyagok terhelés hatására bekövetkező kettőtörésének terheléssel egyenesen arányos változását használja fel a vizsgált elem nyúlás- és feszültségváltozásának meghatározására. A kettőtörés változás a vizsgált elemben a két főfeszültség irányában ( $\sigma_1$  és  $\sigma_2$ ) alakul ki. A jelenség polarizációs szűrők közt vizsgálva – az interferenciaképek megfigyelésével és rögzítésével – megfigyelhető, melynek alapján a vizsgált elem nyúlás-, valamint feszültségállapota kiértékelhető.

A mérési eljárásnak alapvetően két módszere ismert. Történelmileg a modellezési, átvilágító eljárás volt az első (Oppel, 1937), amikor is a vizsgálni kívánt szerkezeti elemet 2D transz-

parens modell segítségével vizsgálták, alkalmasan megválasztott terhelőberendezésben, polarizációs szűrők között. A másik eljárás, amely az 1950-es években (Hiltsber, 1954) indult fejlődésnek, az optikailag érzékeny, transzparens anyagot (kétkomponenses epoxigyanta) a konkrét szerkezeti elemre ragasztva vizsgálta, így a modellezéssel járó valóságra történő átszámítás nehézségeit meg lehetett takarítani, túl azon, hogy a vizsgált szerkezeti elemet valóságos terhelési körülmények között lehetett vizsgálni. A mérési eljárás alap-összeállítását az 1. ábra mutatja.

Az eljárás során a vizsgálni kívánt szerkezeti elemet alkalmasan megválasztott anyagból (optikailag aktív, kellően érzékeny) modellezzük (2D vizsgálati technika), vagy az aktív anyagot a vizsgált felszínre ragasztjuk, majd polarizációs szűrők között megvilágítva terheljük. A terhelés hatására keletkezett interferenciaképet (a megfigyelő helyén észlelt fényintenzitás-változást) – amely a vizsgált alkatrész nyúlás-, valamint feszültségállapotának megváltozását mutatja – kiértékeljük. A vizsgálat megvilágító fényforrásként alkalmazhatunk monokromatikus fényforrást, vagy vizsgálatunk színtelen (fehér) fényalkalmazásával. Az első esetben az eredményül kapott interferenciakép (terhelésváltozás esetén a rendszámok) fekete, valamint fehér sávok változása formájában jelentkezik. Színtelen vagy

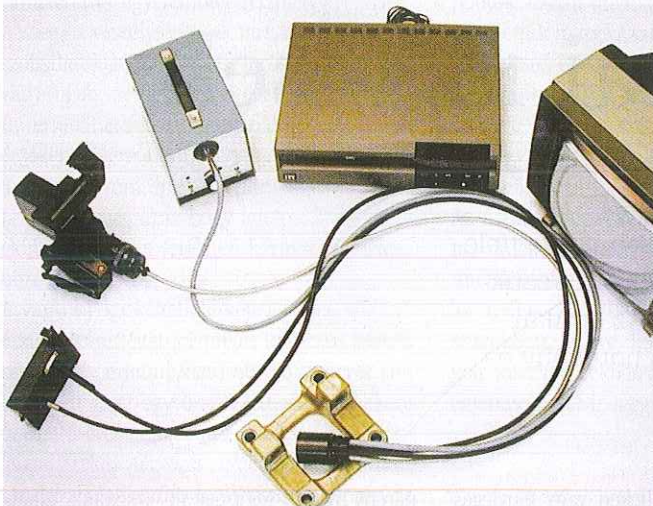
1. ábra Az optikai feszültségvizsgálat eljárásának alap-összeállításai



a) modellezési eljárás

b) rétegbevonatos eljárás

## 2. ábra Száloptikás reflexiós minipolariszkóp



a) száloptikás minipolariszkóp összeállítása



b) minipolariszkóp mérőfejének szerkezete

fehér fényforrás alkalmazása esetén a terhelés hatására mutatkozó interferenciajelenség (rendszámoszlás) színes sávok formájában jelentkezik. Vizsgálataink alkalmából a polarizátorok egymáshoz viszonyított helyzete lehet merőleges (ez esetben az egész értékű rendszámokat figyelhetjük meg) vagy párhuzamos (a feles értékű rendszámok megfigyelésére).

A rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat az átvilágítás, modellezési módszerhez képest számos új lehetőséget nyújt a felhasználónak. Nincs szükség modelltörvények használatára az eredmények valóságra történő átszámításakor, hiszen a mérés a tényleges szerkezeti elemeken történik. A mérés azonnal mutatja a nyúlás- és feszültségeloszlást a szerkezeten, valós terhelések esetén, statikus és dinamikus vizsgálatoknál egyaránt. A szerkezetek alakjának, kialakításának feszültségeloszlásra gyakorolt hatása azonnal látható és értékelhető, az egyes módosítások hatása közvetlenül nyomon követhető.

Az egymásra épülő hatások (különböző terhelések szuperpozíciója, például szerelési, üzemi teher) egyszerűen láthatók, a meghibásodás oka könnyebben meghatározható. A módszer a prototípus korai szakaszában már alkalmazható, így a szükséges módosítások a tervezés korai fázisában a mérések eredményei alapján érvényesíthetők. Az eljárás egyik legfontosabb eredménye, hogy az interferenciaképek – melyek redukált feszültségi eredményt tükröznek – könnyen összehasonlíthatók a numerikus szimulációk eredményeivel, valamint ezek peremfeltételeinek meghatározásakor könnyen alkalmazhatók (FEM, FEMAP stb.).

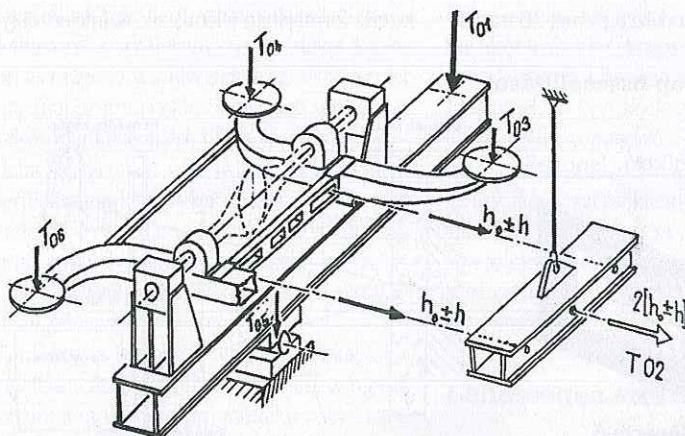
Mint a rétegbevonatos vizsgálati technika mérésalap-összeállításából láthatjuk, a vizsgálat során a polarizált fénysugárnak „látnia” kell a vizsgált felszínt. A fénymenet az itt bemutatott eljárásnál nem tökéletesen merőlegesen jut el a vizsgált felületre, úgy a beesés, mint a visszaverődés esetén. Ez a jelenség számos, a kiértékelésnél figyelembe veendő járulékos

hatást eredményez, melynek elméleti kezelése sem mindig egyszerű.

Mindezen kedvezőtlen hatások csökkentésére, valamint a megvilágító fénysugár számára be nem látható területek (alagos gépelemek felszínei, zárt, belső területek vizsgálata, melyek előzetesen vizsgálatra alkalmassá tehetők, de később nem megvilágíthatók közvetlenül) vizsgálati lehetőségének biztosítására fejlesztették ki a száloptikás minipolariszkópot. A vizsgálóberendezés videorendszerhez illesztve a mérési eljárás kiterjesztését, szélesebb körű alkalmazását teszi lehetővé. A mérőrendszer összeállítását a 2. ábra mutatja.

A minipolariszkóp mérőfejének átmérője és szerkezeti hossza egyaránt 50 mm, így teljesíteni tudja a görbült felszínek alakos felületeinek közel merőleges megvilágítását, valamint kis méreténél fogva eldugott, egyébként nehezen látható (akár belső) felületek – például erőbevezetések környezete – is vizsgálhatóvá válnak.

## 3. ábra Autóbusz-segédalváz keretének vizsgálata



a) segédalváz terhelésének mechanikai modellje



b) terhelőkeretben megfoglalt segédalváz

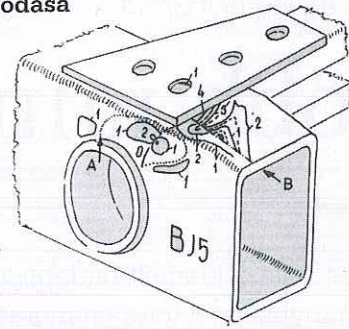
**4. ábra** Segédalvázkeret ciklikus terhelés hatására bekövetkezett meghibásodása



a) megcsúszási vonalak megjelenése



b) tipikus törési kép környezetében észlelt rendszám



c) a meghibásodott környezet összerajzolt rendszámeloszlása

**A rétegbevonatos mérési eljárás gyakorlati alkalmazása**

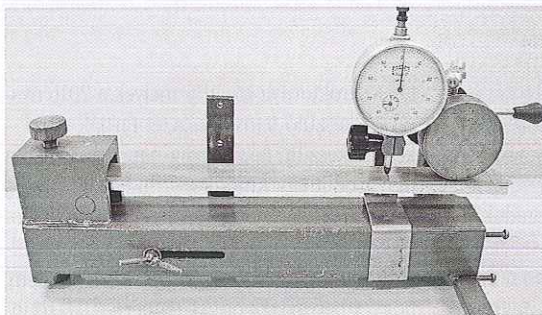
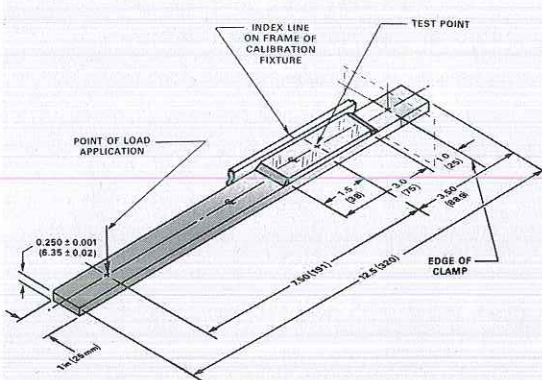
Gyakorlati példán mutatjuk be a rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat szerkezetek fejlesztésében való alkalmazását. A most bemutatandó ábrák egy autóbusz-segédalváz keretének fejlesztése során nyert eredményeket mutatják.

A vizsgálat során az önsúlyt, a hasznos teherből származó külső erőket, az útgerjesztések hatásait, a toló- és fékeröket is modelleztük az alvázkeret várható élettartamának számítása, valamint meghibásodási okának feltárása érdekében. A segédalvázkeret terhelésének mechanikai modelljét, valamint alkatrészterhelő keretben történt megfogását a 3. ábra mutatja.

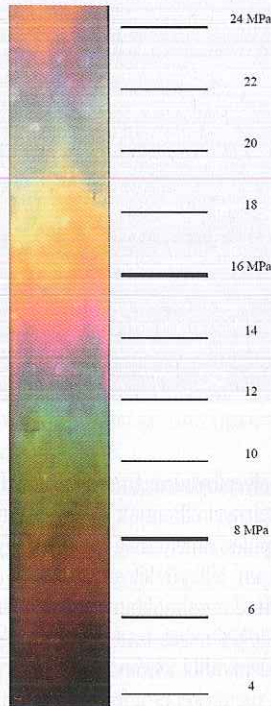
Az élettartam-vizsgálat során annak teljes időtartamában rögzítettük a rétegbevonattal ellátott alvázkeret egy részletének feszültségváltozását, melynek alapján a szerkezet tönkremeneteli folyamata nyomon követhetővé vált. A 4. ábrán láthatjuk a megcsúszási vonalak megjelenését (4. a), mely a tönkremenetel kezdetét jelentette. A 4. ábrán láthatjuk azt a területi részt is, ahol a tönkremenetel bekövetkezett (4. b), illetve láthatjuk az erről készített összerajzolt rendszámeloszlást (4. c) is. A mérési eredmények nyúlásra, valamint feszültségre történő számszerű értékelésekor kalibrálási eljárással határozzuk meg a vizsgálóréteg nyúlás-, valamint feszültségérzékenységet. A kalibrálás során ismert terhelésnek alávetett tiszta igénybevetélő tartófeszültség állapotát kiszámítjuk, és összevetjük a mért nyúlásképpel, melyből el lehet végezni az egyes színsávértékek felszíni feszültségre történő átszámítását. A kalibrálás menetét az 5. ábra szemlélteti.

Az optikai feszültségvizsgálat rétegbevonatos mérési eljárása (photostress analysis) a mérnöki gyakorlat számára rendkívül hatékony és viszonylag kis költségekkel megvalósítható vizsgálati módszer, melynek alkalmazásával a tervezési, gyártási folyamat korai szakaszában (prototípusgyártás, nullszéria) lehetőség nyílik a szerkezet tényleges körülmények közti vizsgálatára. Az eljárással nem csak fémszerkezetek, de polimerek, erősített polimerek (természetes és mesterséges) is vizsgálhatók, az eljárás biomechanikai rendszerek terhelésanalízisében egyaránt sikerrel alkalmazható a vizsgált rendszerek konstrukciójának javítása, tényleges terhelési körülmények közti viselkedésének feltárása érdekében.

**5. ábra** Rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat rétegganyagának kalibrálása



a) kalibráló próbapálcá és terhelőberendezése



b) kalibrálás során észlelt rendszámeloszlás feszültségre átszámítva

Hirdetés



A BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Tartószerkezet-rekonstrukciós Szakmérnöki képzésére a 2016-os évről meghirdeti a jelentkezést. A képzés időtartama 4 félév, kezdés 2016 februárjában. A képzés elsősorban meglévő épületek vizsgálatával és megerősítési technikákkal foglalkozik, továbbá tartalmaz elméleti, általános mérnöki és tervezési tárgyakat is.

Részletek a [www.szt.bme.hu](http://www.szt.bme.hu) honlapon.