

A Moiré-sávok elvének alkalmazása roncsolásmentes vizsgálatokra

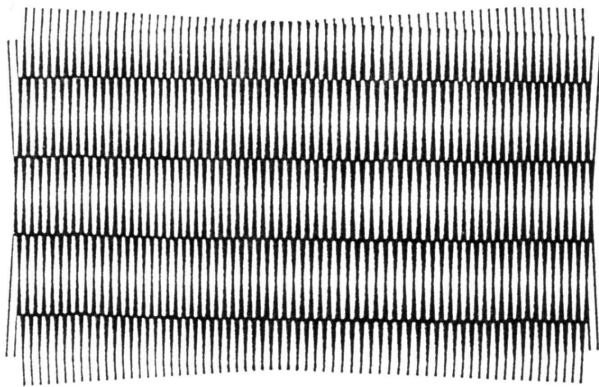
Száva János¹, Dani Péter¹, Gálfi Botond¹, Kakucs András², Sárosi Pál¹, Harangus Katalin²

Kulcsszavak: érintés-mentes kísérleti módszer, Rm vizsgálat, Moiré-sávok, árnyék-moiré eljárás
Keywords: Non-contact experimental method, NDT inspection, Moiré-fringe, Shadow-Moiré method

¹ „Transzilvania” Egyetem, Brassó, Románia
² „Sapientia” Egyetem, Marosvásárhely, Románia

Bevezető

A Moiré jelenséget először Lord Rayleigh írta le 1874-ben, majd Righi alkalmazta a Moiré-sávokat először alakváltozás kiértékelésére 1887-ben. Az ehhez szükséges rácsot alternatívan váltakozó fehér és fekete sávok/vonalak segítségével hozzuk létre, melyeket átlátszó műanyag fóliára másolunk, 1. ábra. A vonalak tengelyei közötti távolságot a rács lépésének p nevezzük. A lépések azonosak egy fólia keretén belül, de lehetnek azonosak, illetve kissé egymástól eltérőek két fólia esetében. Így, alacsony frekvenciájú optikai rácsokat nyerünk. Mint ismeretes, a Moiré-sávokat két alacsony frekvenciájú optikai rács, illetve ezek képének egymásra helyezéséből nyerjük, ha ezek - irány, forma, vagy sávköz szempontjából - kissé eltérnek egymástól.



1. ábra. A rácsok elforgatása következtében keletkezett Moiré-sávok

Fig. 1. Moiré-fringes created by turning two lattices

A Moiré-sávok száma (frekvenciája) egyidejűleg nő a rácsok frekvenciájával, illetve az alakváltozással. Az alábbiakban két eljárást ismeretünk röviden, és pedig

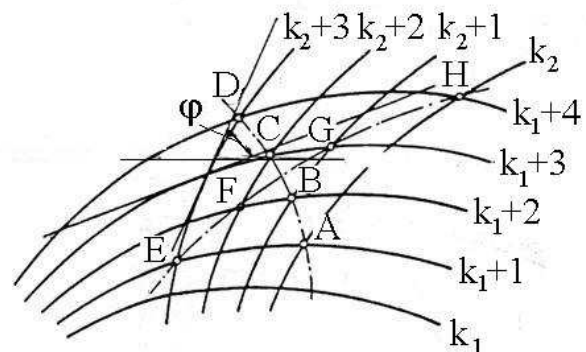
- a geometriai Moiré, illetve
- az árnyék Moiré eljárást.

Geometriai Moiré eljárás

A Geometriai Moiré eljárás esetében az egyik rácsot a vizsgált tárgy felületére rögzítjük (ez a tárgy-rács, vagy aktív-rács, melynek lépése p_2),

mely az illető tárgy alakváltozását pontosan követi, míg a másikat (ez a referenciá-rács, melynek lépése p_1) a tárgytól megfelelő távolságra helyezük el (ez természetesen nem szenved alakváltozást a tárggyal egyetemben).

Ha a tárgyat, alakváltozása után, a referenciá-rácson keresztül vizsgáljuk, akkor - egy általános sík alakváltozás esetében - a 2. ábrán bemutatott két görbesereget nyerjük, melyek az úgynevezett Moiré-sávok. Itt a két rács képét k_1 , illetve k_2 függvényében számoztuk.



2. ábra. Általános sík alakváltozás esetében nyert Moiré-sávok

Fig. 2. Moiré-fringes in case of generic plane strain condition

Az **A, B, C, D,...** pontok által alkotott sávokat *szubsztraktív sávoknak* nevezzük, és ezek egyenlete [1]:

$$M_s = F_1(x, y) - F_2(x, y) = k_1 - k_2 = m_s,$$

míg az **E, F, G, H, ...** pontok által meghatározottak az *additív sávok*, melyek egyenlete:

$$M_a = F_1(x, y) + F_2(x, y) = k_1 + k_2 = m_a.$$

A valóban észlelhető (látható) Moiré-sávok azok, melyeknél a sávköz nagyobb, vagyis a rövidebb átlókat egyesítő pontok halmaza; jelen esetben az **A, B, C, D,...** pontok által meghatározott szubsztraktív sávok.

Mivel az egyedi négyzetek alakja és mérete pontról pontra módosul az illető tárgy alakváltozásának függvényében, ezért a látható sávok rendre lehetnek szubsztraktívák, illetve additívák is.

Az említett [1] forrásmunkában rendre bebizonyították a sávközök egyenleteit is, vagyis:

- a szubsztraktív sávoknál

$$f_s = \frac{1}{\sqrt{(F'_{1,x} - F'_{2,x})^2 + (F'_{1,y} - F'_{2,y})^2}};$$

- az additív sávoknál

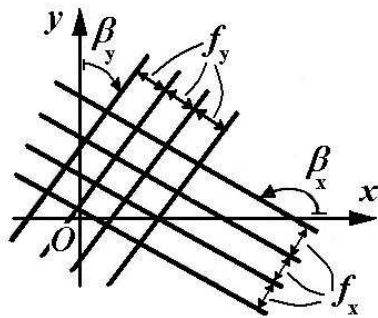
$$f_a = \frac{1}{\sqrt{(F'_{1,x} + F'_{2,x})^2 + (F'_{1,y} + F'_{2,y})^2}},$$

- valamint a sávköz végső összefüggése

$$f = \frac{p_1 \cdot p_2}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2 \pm p_1 \cdot p_2 \cdot \cos \beta}},$$

ahol a (+) az additív-, míg a (-) a szubsztraktív sávokra vonatkozik, míg β a sávra húzott érintő és az ezzel kisebb szöget bezáró rács-vetület érintőjének a szöge.

A homogén sík alakváltozás esetén (lásd a 3. ábrát) bebizonyíthatók a rács jellemzői és a fajlagos alakváltozás elemei közötti összefüggések:



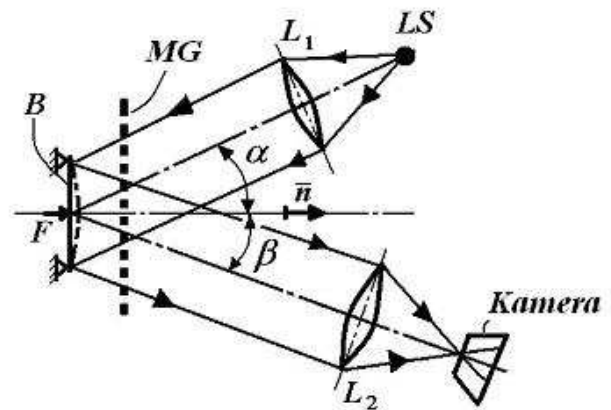
3. ábra. Homogén sík alakváltozás
Fig. 3. Homogeneous plane strain deformation

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{p}{f_x} \cdot \cos \beta_x; \\ \varepsilon_y &= \frac{p}{f_y} \cdot \cos \beta_y; \\ \gamma_{xy} &= \theta_x - \theta_y = \frac{p}{f_y} \cdot \sin \beta_y - \frac{p}{f_x} \cdot \sin \beta_x. \end{aligned} \right\}$$

Megjegyzés: a geometriai Moiré eljárás főként a vizsgált test síkjában észlelt alakváltozások kimutatására alkalmas (erre érzékeny).

Árnyék Moiré eljárás

Az Árnyék Moiré eljárás a vizsgált test síkjára merőleges elmozdulások kimutatására, valamint kontúrozásra alkalmas. Az eljárás elvi sémáját a 4. ábrán láthatjuk. Az **LS** fényforrásból a fénynyaláb az **L₁** kollimátoron keresztül, α szög alatt eljut az **MG** rácsra (mely referencia-rács, mivel nem szenved alakváltozást a **B** tartóval egyetemben). A testről visszavert fénynyaláb szintén kollimált nyalábként érkezik az **L₂** lencserendszeren keresztül, β szög alatt a megfigyelőhöz, illetve a **K** fotókamerához.



4. ábra. Az Árnyék Moiré eljárás elvi sémája
Fig. 4. Basic principle of the Shadow Moiré method

Az [1] dolgozatban bebizonyították a test síkjára merőleges (vagyis az \vec{n} normális irányában mért) w lineáris elmozdulás képletét:

$$w = \frac{N \cdot p}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta},$$

ahol N - a sávrendszám, míg p - a rács lépése.

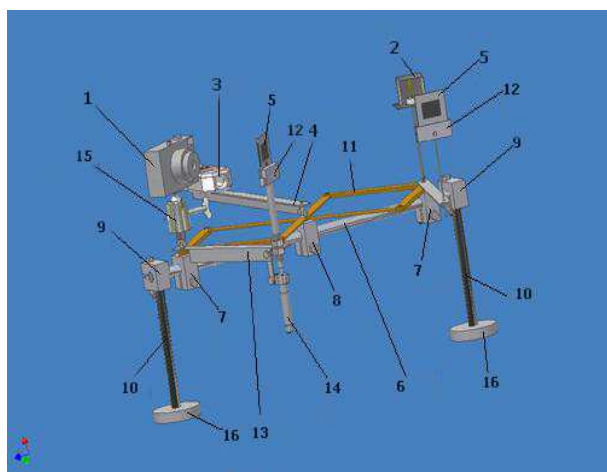
Ezt az optikai felállítást rezgések elemzésére is lehet alkalmazni. Megjegyezzük, hogy azonos lépésű ($p_1 = p_2$) rácsok segítségével létrehozott Moiré-sávoknál a mérés pontossága körülbelül 1/10-e a rács lépésének, tehát ettől nagyban függ a felhasználhatósága is.

A nagyobb tárgyak vizsgálatára alkalmasabb az úgynevezett rácsvetítéses eljárás (*Fringe Projection Moiré Technique* vagy *Projection Moiré Technique*), ahol a tárgy megvilágítása, illetve a test vizsgálata két különálló, kisebb méretű rácson

keresztül történik. Ezen rácsok elhelyezését az L_1 , illetve L_2 lencserendszerek síkjában képzelhetjük el, míg az eredeti **MG** rács hiányozni fog a sémából. Ezt a sémát Brooks és Helfinger alkalmazták először 1969-ben. Az előzőekben bemutatott képletek érvényben maradnak ennél a sémánál is. Itt elvileg a maximális érzékenységet $\alpha + \beta = 90^\circ$ -ra nyerjük, viszont ebben az esetben sok elfogadhatatlan árnyék keletkezik, melyek kompromittálják a felület kontúrozását (azaz, hogy szintvonalak alapján az elmozdulásokat ki tudjuk értékelni). Optimális $(\alpha + \beta)$ szög segítségével a nyert sávrendszer megfelelő kontrasztal és számmal fog rendelkezni. Az alábbiakban pontosan erre a megfigyelésre alapozó kísérleti berendezést terveztünk és valósítottunk meg, mely tesztelése folyamatban van.

A javasolt kísérleti berendezés leírása

A készülék elvi sémáját Autodesk Inventor 5.3 programban rajzoltuk meg, 5. ábra.



5. ábra. A javasolt Árnyék Moiré felszerelés elvi sémája

Fig. 5. Basic Principle of the Shadow Moiré device

A **2** pontszerű fényforrásból a fénynyaláb, az **5** diakeretben elhelyezett Moiré-rácson keresztül, megvilágítja a tanulmányozott testet (ez nincs feltüntetve az ábrán), majd arról visszaverődve, a másik **5** diakeretben elhelyezett Moiré-rácson keresztül, eljut az **1** digitális fotókamerához (vagy a megfigyelőhöz). A fényforrás és a fotókamera azonos távolságát a testre vett $\frac{\omega}{N}$ normálistól (lásd a 4. ábrát is), a **11** pantográf-rendszer biztosítja, míg az azonos $(\alpha = \beta)$ szög alatti megfigyelést/észlelést két, az ábrán fel nem tüntetett lézerdíoda biztosítja. Ezeket az **5** diakeretek tartóihoz rögzítjük úgy, hogy ezekre merőlegesek legyenek. Ha a lézerdíodák által kibocsátott fénynyalábok a test egy előre jól

meghatározott pontjában találkoznak (ahonnan az $\frac{\omega}{N}$ normálist is mérjük, vagyis a **8** rögzített bilincse merőleges irányban), akkor az elméleti séma minden elvárását biztosítottuk (lásd a 4. ábrát). Ugyanakkor, a **14** mikrométeres csavar segítségével finom beállítást tudunk biztosítani a két, diakeretben elhelyezett, rács között. Ennek eredményeként a séma úgy fog működni, mintha egyetlen rácson keresztül vizsgálnánk a testet, vagyis az eredeti Árnyék Moiré séma alapján. A rendszer egy adott pozíciójában való rögzítését a **7** mozgó bilincsek biztosítják, míg a felfogást (jelen esetben egy álló rendszerről lévén szó) a **9**, **10** és **16** elemek.

A rendszerhez tartozik még a **3** ultrahangos távolságmérő eszköz, valamint a fotókamera felfogását és állítását biztosító **15** speciális csavar is.

Alkalmazási lehetőségek, perspektívák

Az itt bemutatott berendezés jelen pillanatban tesztelés alatt áll, és a hordozható-, miniatűr változatának a fejlesztésén dolgozunk. A statikus változat segítségével elért eredményeink biztatóak és reméljük, hogy a hordozható változat is be fog válni. Mivel a Moiré módszer érintésmentes eljárás, ezért roncsolásmentes ellenőrzésekre is alkalmas.

Elképzelhető, hogy pontosan ez a hordozható változat fog egy hiányt pótolni a roncsolásmentes vizsgálati módszerek esetében, mivel a digitális fotókamera által rögzített képeket sajátfejlesztésű számítógépes programmal dolgozzuk fel és gyakorlatilag valós idejű mérésekre alkalmas (például egy nyomáspróba következtében észlelhető rendellenesség feltárására).

A jelen módszer előnyei között meg kell említeni azt is, hogy rendkívül olcsó és igénytelen (nem igényel különösebb szakmai felkészültséget) roncsolásmentes eljárásnak ígérkezik és ugyanakkor a mért adatok tárolását, későbbi összehasonlítását is biztosítja, mivel számítógépes adattárolással dolgozik.

Irodalom

- [1] Theocaris, S.P. *Moiré fringes in Strain Analysis*. Pergamon Press, Oxford, London, 1969.