

The transverse sensitivity of strain gages – determination and compensation

Martin Stockmann* – Jochen Naumann**

Összefoglalás

Nyúlásmérő bélyegek keresztirányú érzékenységeinek meghatározása és kiegyenlítése

Valamennyi ellenállás-fóliás vagy -huzalos nyúlásmérő bélyeg kis százalékban érzékeny a nyúlás keresztirányú összetevőjére is, mivel ez is kismértékben megváltoztatja a huzal (fólia) villamos ellenállását (1. ábra). A keresztirányú érzékenység függ a geometriai tényezőktől, az anyagjellemzőktől és magának a bélyegnek a mechanikai jellemzőitől.

Az ϵ_l hossz- és ϵ_t keresztirányú összetevőkkel jellemzett rugalmas nyúlásmezőben a villamos ellenállás és a nyúlás között az (2 – 4) összefüggések [1] érvényesek a nyúlásmérő bélyegekre, ahol

- β_l és β_t az ellenállás-fólia vezetési tényezője a hossz- és a keresztirányban;
- G_R és L_R a rács és a hurokvégek ellenállásának részaránya (3) szerint;
- G_T és L_T a rácsvonalaknak és a hurokvégeknek a nyúlás keresztirányú összetevőjére vonatkozó átviteli tényezői.

Ez az elméleti leírás nyitott a nyúlásmérő bélyegek új, mechanikai jellemzőiben is megváltoztatott, a keresztirányú érzékenységüket csökkentő változataira is. Erre mutat példát a 2. ábra, amelynek jobb oldalán a szerzők által tervezett és a HBM cég által legyártott, a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített nyúlásmérő bélyeg [2] vázlata látható.

A Chemnitz-i Műszaki Egyetem munkatársai a nyúlásmérő bélyegek és más nyúlásérzékelők keresztirányú érzékenységének meghatározásához új módszert és kalibráló készüléket fejlesztettek ki. Ez utóbbi lehetővé teszi a terhelés irányának a megváltoztatását, illetve a statikus és a dinamikus terhelés alkalmazását is. A kalibráló készülék (3. ábra) fő eleme a hajlító gerenda, amelynek nyúlásállapotát (a vizsgálandó bélyeg koordinátáiban kifejezve) $|\epsilon_x| = 1000 \mu\text{m/m}$ és $|\epsilon_y| \leq 2 \mu\text{m/m}$ jellemzi. Méreteit végelesemes módszerrel határozták meg (4. ábra), és a számítás eredményét az 5. ábra szemlélteti. Látható, hogy valóban fennáll az $\epsilon_x/\epsilon_y = 0$ a központban ($x = 0, y = 0$). Járulékos normál terhelés alkalmazásával a hosszirányú nyúlásösszetevő $-5 \mu\text{m/m} \leq \epsilon_x \leq +5 \mu\text{m/m}$ tartományra kiterjeszhető. A 6. ábrán a kalibráló készülék adat-kijelző és -értékelő rendszerének vázlata látható dinamikus terhelés esetére.

A 7. ábra a hagyományos (standard), 6/120XY11 típusjelű (HBM) és a 2. ábra szerinti új, a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített (de a standardtípustól csak a járulékos fémfólia-rács bevezetésében eltérő) nyúlásmérő bélyeggel, keresztirányú nyúlásmezőben ($\epsilon_t = 250 \mu\text{m/m}$, $\epsilon_l \sim 0 \mu\text{m/m}$) mért nyúlásokat mutatja. Látható, hogy az új bélyeggel mért keresztirányú nyúlás a hagyományossal mértnek mintegy a fele.

Introduction

The resistance change of bonded foil and wire strain gages is mainly caused by strain in longitudinal direction but unfortunately to a small part also by strain in transverse direction (Fig. 1). This second influence is called transverse sensitivity. It depends on geometric parameters, material parameters and in terms of the transmission behaviour of the transverse strain from the specimen to the grid line also on mechanical parameters of the strain gage. The gage factor in longitudinal direction

k_l is nearly 2 and the transverse sensitivity k_t is in the range of -0.04 to $+0.1$ (eq. (1)).

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k_l \epsilon_l + k_t \epsilon_t \quad (1)$$

High precision strain measurements require strain gages with an extremely small value of the transverse sensitivity.

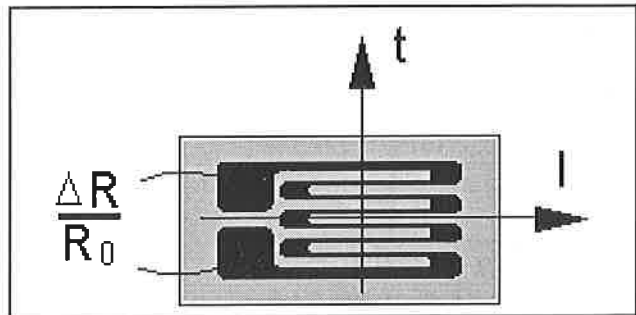


Fig. 1: Strain gage and sensitivity equation (1)

1. ábra. A nyúlásmérő bélyeg és az (1) érzékenységi egyenlet

Resistance–strain-relation

The equation-set (2) - (4), derived in [1], describe the resistance-strain-relation of a strain gage in sensitivity formulation. The basic equation (2) consists of two parts, the grid- and the end loop-part. The longitudinal strain ϵ_l and the transverse strain ϵ_t take an influence. Parameters are the conductivity factors of the material β_l, β_t , the portions of the resistance G_R, L_R and the mechanical behaviour in form of the transmission factors G_T, L_T .

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \left\{ \begin{array}{l} \epsilon_l [2\nu(1-\beta_l) + \beta_l + 1] + \\ + \epsilon_t \left[\frac{\nu}{1-\nu}(1-\beta_t) + \beta_t - 1 \right] \end{array} \right\} G_R + 2\epsilon_t L_T L_R \quad (2)$$

$$G_R = \frac{nR_G}{R_0} \quad L_R = \frac{mR_L}{R_0} \quad (3)$$

$$\epsilon_t^{Loop} = L_T \epsilon_t^{Spec} \quad \epsilon_t^{Grid} = -\nu \epsilon_l + G_T \epsilon_t^{Spec} \quad (4)$$

β_l, β_t ...conductivity factors of the resistance foil in longitudinal and transverse direction

G_R, L_R ...portions of resistance of grid and end loops respectively

G_T, L_T ...transmission factors of the transverse strain component to the grid lines and the end loops

Compensation of the transverse sensitivity

This theoretical description allows the calculation of the transverse sensitivity and opens new ways of there compensation. One way is the variation of the mechanical strain transmission factor G_T , namely, by introducing small additional gridlines of metallic foil material, for instance advance (see Fig. 2 and [2]).

Prototypes of strain gages with transverse sensitivity compensation were designed by the authors and manufactured by HBM. They were

* PD Dr.-Ing. habil. – ** Prof. Dr.-Ing. habil. – Chemnitz University of Technology, Germany

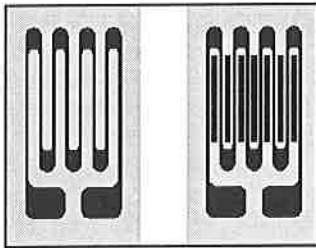


Fig. 2: Schematic layout of standard strain gage (left) and special strain gage with transverse sensitivity compensation (right)

2. ábra. A hagyományos (balra) és a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített (jobbra) nyúlásmérő bélyeg szerkezeti vázlata

tested using a new calibration device, developed and produced by the Chemnitz University of Technology.

Determination of the transverse sensitivity

The calibration device consists of a special designed double T-girder, supported at the bottom and mounted on the top with a rigid bar for the application of the bending moment. The mechanical system is shown in Fig. 3.

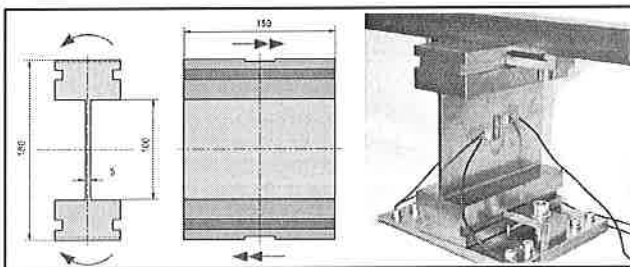


Fig. 3: Calibration device, geometry and loading
3. ábra. Kalibráló készülék kialakítása és terhelése

This device allows load reverse and can be used for static and dynamic loading. The bending moment generate in the centre of the specimen (testing area) the calibration strain state $|\epsilon_1| = 1000 \mu\text{m/m}$ and $|\epsilon_2| \leq 2 \mu\text{m/m}$ (in the co-ordinates of the test strain gages). The dimensions are exactly calculated using the method of finite elements and certified by experiments.

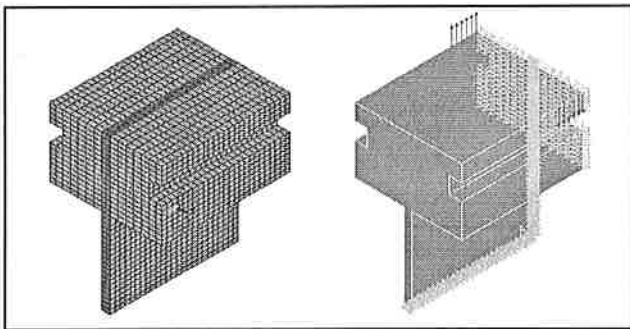


Fig. 4: Numerical simulation (ANSYS Inc.), FE-mesh and boundary conditions
4. ábra. Numerikus szimuláció (Ansys Inc.), végeelem-háló és a peremfeltételek

Fig. 4 shows the finite element mesh and boundary conditions. Results are presented in Fig. 5. It is shown, that the strain relation ϵ_y/ϵ_x in the centre ($y = 0, x = 0$) is really zero.

Furthermore it is possible to tune the longitudinal strain component in the range $-5 \mu\text{m/m} \leq \epsilon_1 \leq 5 \mu\text{m/m}$ using an additional normal load.

The principle of the date recording and evaluation in the case of dynamic loading is shown in Fig. 6. The complete device consists in this case of the specimen, the rigid bar on the top and two weights of 10 kg at the ends of the bar. The free vibration is stimulated manually. One of the advantages of the dynamic loading is the very high sensitivity and resolution of the signal. That results, because the natural mode and the

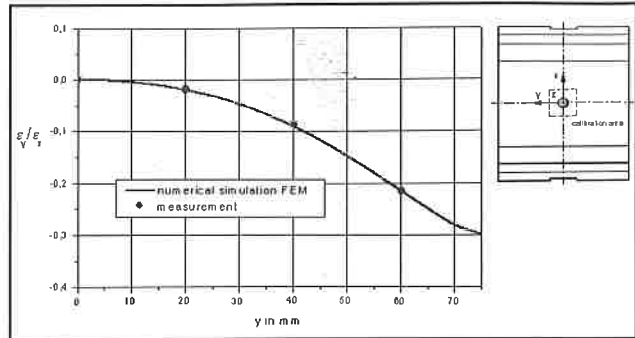


Fig. 5: Strain relation ϵ_y/ϵ_x along the y-axis

5. ábra. Az ϵ_y/ϵ_x nyúlásviszony változása az y tengely mentén

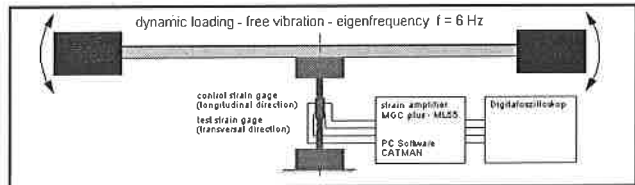


Fig. 6: Schematic layout of the data recording and evaluation in the case of dynamic loading

6. ábra. A kalibráló készülék adat-kijelző és -értékelő rendszerének vázlata dinamikusan terhelés esetén

self-frequency of the system is known, and it's possible to reduce the noise of the signal by band pass filtering.

Test results are shown in Fig. 7. One inspected strain gage is the type 6/120XY11 (HBM) in standard style (standard gage). The other is modified in accordance with Fig. 2 (gage with reduced transverse sensitivity), whereby the basic layout correlates exactly with the standard gage 6/120XY11. The only change is the introduction of small additional gridlines of metallic foil material (advance).

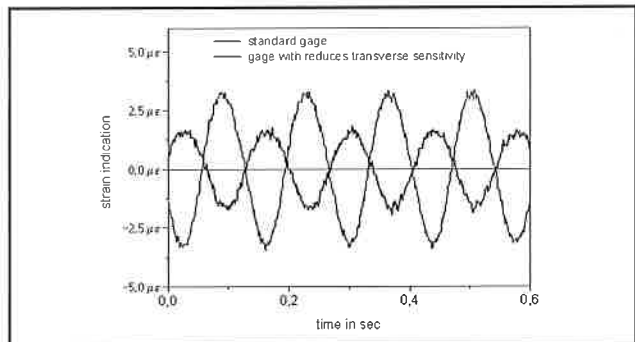


Fig. 7: Strain indication of two strain gages in a transverse strain field, $\epsilon_1 = 250 \mu\text{m/m}, \epsilon_2 \approx 0 \mu\text{m/m}$.

7. ábra. A hagyományos és az új nyúlásmérő bélyeggel, keresztirányú nyúlásmezőben ($\epsilon_1 = 250 \mu\text{m/m}, \epsilon_2 \approx 0 \mu\text{m/m}$) mért nyúlások

The measured strain values (Fig. 7) shows that the transverse sensitivity of the modified strain gage is reduced and amounts $q \sim 0,5 \%$, in comparison with $q \sim 1 \%$ for the standard gage.

Bibliography

[1] Stockmann, M.: Mikromechanische Analyse der Wirkungsmechanismen elektrischer Dehnungsmessstreifen, Habilitationsschrift, in: Technische Universität Chemnitz, Institut für Mechanik Bericht 3/2000. <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2000/004>
[2] Stockmann, M.; Naumann, J.: Dehnungsmessstreifen Deutsches Patent- und Markenamt, Patentschrift, DE 198 26 411 C2, 03.05.2001