



ELTE TTK

DINAMIKUS NANO- ÉS MIKROKEMÉNYSÉG MÉRÉSE

*Olar Alex*

2018

# Tartalomjegyzék

|   |   |
|---|---|
| I. Elméleti összefoglaló, mérési eszközök | 2 |
| II. Kiértékelés                           | 2 |

## I. Elméleti összefoglaló, mérési eszközök

A mérés során egy keménységmérő eszközt ismertünk meg, amely Vickers-fejjel végezte el a méréseket. Ezek során tiszta anyagok ( $Ni, Cu, Al, Ag$ ) keménységét mértük meg, valamint  $Al, Mg$  különböző ötvözeit vizsgáltuk. Feladatunk volt még a plasztikus instabilitás kvalitatív vizsgálata is a kiértékelés utolsó részében.

## II. Kiértékelés

A Vickers-fej mellett a minta keménysége az alkalmazott erő és a hatékony felület hányadosa,  $HV = \frac{F}{A}$ . A mérés során dinamikus mérést végzünk, hiszen egy  $F-h$ , azaz erő-benyomódás görbét vizsgálunk. A görbe alatti terület lehetőséget ad a disszipált energia kiszámítására, valamint a görbéből folyáshatárra, Young-modulusra és a mért anyagok egyéb rugalmas tulajdonságaira következtethetünk.

A maximális erőhöz tartozó benyomódás  $h_{max}$  szükséges a további számolásokhoz. A szükséges korrigált mélységet az alábbi egyenlet adja:

$$h_c = h_m - 0.75 \frac{F_m}{\frac{dF}{dh}|_{h_m}}$$

, amit azért kell alkalmazni, mert a statikus és dinamikus esetben a benyomódás eltér és a következő korrekció szükséges annak visszanyeréséhez.

A kiértékelés során a terheletlen szakaszra egyenest illesztettünk és annak meredekségét használtuk  $\frac{dF_m}{dh}|_{h_m}$  kiszámításához. Míg  $F_{max}$ -ot az adatsorból meghatározva a hozzá tartozó  $h_{max}$ -al automatikusan adott volt. Így:

| Anyag         | $h_{max}[\mu]$ | $F_{max}[mN]$ |
|---------------|----------------|---------------|
| Al            | 5.186          | 0.191         |
| Cu            | 2.233          | 0.192         |
| Ni            | 1.604          | 0.192         |
| Ag            | 3.298          | 0.191         |
| acél          | 2.364          | 0.191         |
| Al - 0.47% Mg | 4.156          | 0.192         |
| Al - 0.93% Mg | 4.056          | 0.191         |
| Al - 1.25% Mg | 3.743          | 0.192         |
| Al - 1.45% Mg | 3.481          | 0.191         |
| Al - 2.7% Mg  | 3.416          | 0.191         |
| Al - 4.5% Mg  | 2.878          | 0.191         |
| Al - 7.3% Mg  | 2.484          | 0.192         |

$h_{max}$  hibáját  $0.05 \mu m$ -re becsültem, mivel ez sokkal nagyobb volt, mint  $h_c$ -nek az illesztésből származó hibája, így  $\delta h_c = \delta h_{max}$ .

| Anyag         | $h_c[\mu m]$ | $\Delta h_C[\mu m]$ |
|---------------|--------------|---------------------|
| Al            | 5.19         | 0.16                |
| Cu            | 2.24         | 0.10                |
| Ni            | 1.61         | 0.10                |
| Ag            | 3.30         | 0.10                |
| acél          | 2.36         | 0.10                |
| Al - 0.47% Mg | 4.16         | 0.05                |
| Al - 0.93% Mg | 4.06         | 0.02                |
| Al - 1.25% Mg | 3.75         | 0.11                |
| Al - 1.45% Mg | 3.48         | 0.13                |
| Al - 2.7% Mg  | 3.42         | 0.06                |
| Al - 4.5% Mg  | 2.88         | 0.07                |
| Al - 7.3% Mg  | 2.48         | 0.01                |

Jól látható, hogy a korrekció olyan kicsi, hogy a benyomódás csak nagyon kis mértékben belül változott.

A Vickers-fej tulajdonsága, hogy az érintkező felület pedig:

$$A = 24.5h_c^2$$

A felületek kiszámolva  $h_c$ -ből:

| Anyag         | $A[\mu m^2]$ | $\Delta A[\mu m^2]$ |
|---------------|--------------|---------------------|
| Al            | 659.159      | 32.350              |
| Cu            | 122.16       | 0.722               |
| Ni            | 63.024       | 2.836               |
| Ag            | 266.478      | 0.712               |
| acél          | 137.393      | 0.25.775            |
| Al - 0.47% Mg | 423.219      | 9.677               |
| Al - 0.93% Mg | 403.038      | 2.575               |
| Al - 1.25% Mg | 343.334      | 19.453              |
| Al - 1.45% Mg | 297.045      | 14.756              |
| Al - 2.7% Mg  | 285.921      | 10.088              |
| Al - 4.5% Mg  | 203.027      | 9.737               |
| Al - 7.3% Mg  | 151.155      | 0.753               |

A redukált modulus  $E_r$  egyből számolható a korábbiak ismeretében, ugyanis:

$$E_r = \frac{\sqrt{p} \left. \frac{dF}{dh} \right|_{h_m}}{2\beta\sqrt{A}}$$

Ahol  $\beta = 1.012$ , és a fentebbre azért van szükség egyáltalán, mivel maga a mérőfej is rugalmas anyag, így deformálódik. Azonban innen, a mért anyag Poisson-számának ismeretében már származtatható annak Young-modulusa.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i}$$

Ahol  $E_i = 1070 GPa$  a fej Young-modulusa,  $\nu_i = 0.17$  szintén a fejre jellemző Poisson-szám.

Ebből a megfelelő  $\nu$  paramétert helyettesítve már egyből az anyagok Young-modulusát számoltam:

| Anyag         | $E[GPa]$ | $\Delta E[GPa]$ |
|---------------|----------|-----------------|
| Al            | 38.284   | 0.247           |
| Cu            | 108.596  | 1.243           |
| Ni            | 146.456  | 1.61            |
| Ag            | 72.55    | 0.997           |
| acél          | 59.323   | 0.674           |
| Al - 0.47% Mg | 54.592   | 1.384           |
| Al - 0.93% Mg | 33.18    | 0.272           |
| Al - 1.25% Mg | 65.824   | 1.149           |
| Al - 1.45% Mg | 59.421   | 0.71            |
| Al - 2.7% Mg  | 76.486   | 1.275           |
| Al - 4.5% Mg  | 81.084   | 0.744           |
| Al - 7.3% Mg  | 59.394   | 0.363           |

A továbbiakban az *Al*, *Mg* ötvözetek keménységének meghatározása volt a cél. Erre:

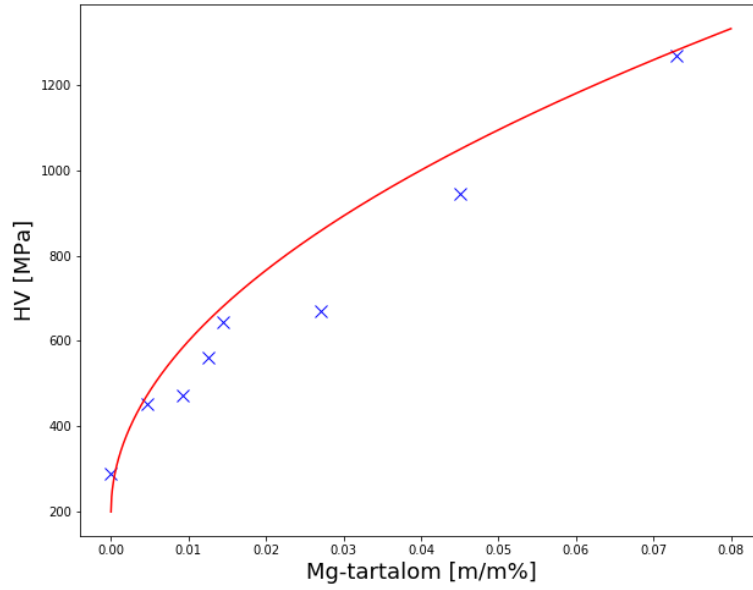
$$HV = HV_0 + Bc^m$$

ahol  $m$  kitevő modelfüggő. Ezen kívül még vizsgálnunk kellett a plasztikus instabilitást, melyhez alacsony sebességű benyomásnál az  $F - h$  görbe 'fogazottságát' kell figyelmesebben megvizsgálnunk.

A keménységet  $\frac{F}{A}$ -ból származtatva az összes anyagra:

| Anyag         | $HV[MPa]$ | $\Delta HV[MPa]$ |
|---------------|-----------|------------------|
| Al            | 290.238   | 14.497           |
| Cu            | 1568.648  | 18.718           |
| Ni            | 3041.951  | 149.04           |
| Ag            | 717.532   | 5.875            |
| acél          | 1412.266  | 13.109           |
| Al - 0.47% Mg | 452.789   | 12.470           |
| Al - 0.93% Mg | 473.894   | 4.664            |
| Al - 1.25% Mg | 559.97    | 32.060           |
| Al - 1.45% Mg | 643.526   | 32.490           |
| Al - 2.7% Mg  | 670.051   | 26.632           |
| Al - 4.5% Mg  | 944.04    | 42.294           |
| Al - 7.3% Mg  | 1266.943  | 14.024           |

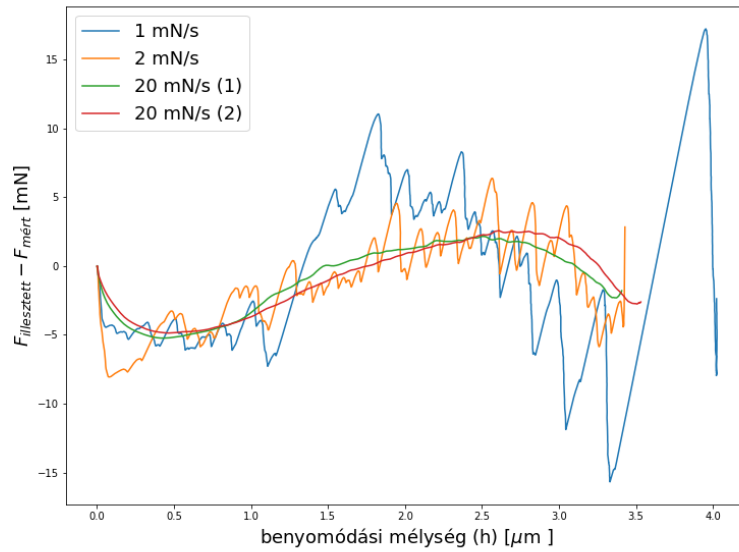
Ebből az *Al*, *Mg* ötvözetekre  $HV = HV_0 + Bc^m$  görbét illesztve:



Ahol az illesztési paraméterek értékei a következők:

$$HV_0 = (5967.56 \pm 1631.03) \text{ MPa} \quad B = (295.00 \pm 22.76) \text{ MPa} \quad m = 0.72 \pm 0.08$$

Ezután a különböző sebességeknél való benyomást vizsgálva, kivonva a mért erőt az illesztettből a fogazottság a következőképpen alakult:



Jól látható, hogy ahogy vártuk, a fogazottság legnagyobb mértékben kis sebességeknél jelenik meg. Az illesztett görbék ( $f(h) = A \cdot h^m$ ) paraméterei a következők:

- 1 mN/s:  $A = (29.52 \pm 0.13) \text{ mN}/(\mu\text{m})^m$ ,  $m = 1.311 \pm 0.004$
- 2 mN/s:  $A = (34.99 \pm 0.10) \text{ mN}/(\mu\text{m})^m$ ,  $m = 1.362 \pm 0.003$
- 20 mN/s (1):  $A = (31.64 \pm 0.21) \text{ mN}/(\mu\text{m})^m$ ,  $m = 1.457 \pm 0.006$
- 20 mN/s (2):  $A = (28.70 \pm 0.21) \text{ mN}/(\mu\text{m})^m$ ,  $m = 1.489 \pm 0.007$