

# Korszerű vizsgálati módszerek labor jegyzőkönyv

## Dinamikus nano- és mikrokeménység mérése

CSÖRNYEI GÉZA

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Fizika BSc III. évfolyam



'C' mérőcsoport

*Mérés dátuma:* 2018.05.03.

*Mérés vezetője:* Nguyen Quang Chinh

# 1. Bevezető

Mérésünk során megismerkedtünk a keménységmérés módszerével, mely az anyagok mechanikai tulajdonságainak meghatározására szolgáló egyszerű mérési módszer. A laborgyakorlaton kapott adatok segítségével meghatároztuk adott minták Young-modulusát, megvizsgáltuk az ötvözőatomok koncentrációjának az anyag keménységére gyakorolt hatását, valamint kiértékeljük a plasztikus instabilitások hatását is különböző terhelési sebességek esetére.

## 2. Rövid összefoglaló

A keménységmérésnek két típusa létezik, a statikus és a dinamikus keménységmérés. A statikus keménységmérés során egy meghatározott geometriájú, kemény fejet nyomunk a vizsgálandó anyagba meghatározott terhelő erővel, majd a mintában maradt nyom mikroszkópos vizsgálata alapján következtetünk az anyag keménységére. Az anyag keménységét a nyomáshoz hasonlóan definiáljuk, konkrétan a terhelőerő és a nyom felületének hányadosaként. A statikus keménységmérés hátránya, hogy csak a végállapotról kapunk információt, az anyag köztes keménységéről és a deformációk menetéről nem.

Ezen probléma megoldására alkották meg a dinamikus, vagyis mélységérzékeny keménységmérést. Itt a mikroszkópot számítógépre cserélve mérni tudjuk a nyomófejre ható terhelőerőt a benyomódási mélység függvényében, miközben azt meghatározott sebességgel a mintába nyomjuk. A terhelőerő és a benyomódási mélység kapcsolatának vizsgálatából következtetni tudunk az anyag keménységén felül annak rugalmas állandóira, törési szívósságára és a lejátszódó plasztikus deformációkra is.

A laborgyakorlat során dinamikus keménységmérés segítségével vizsgáltuk meg a fent említett mennyiségeket és hatásokat különböző tiszta fémek, illetve ötvözetek esetére.

## 3. Kiértékelés

### 3.1. Ötvözőkoncentráció hatása az anyag keménységére

Ezen mérés során több  $AlMg$  ötvözetet használtunk, különböző  $Mg$  koncentrációk mellett. Dinamikus keménységméréssel mindegyik mintára felvettük a terhelőerő-benyomódás görbét, melyből aztán meghatározhattuk a keménységet. A keménységérték számításához a maximális terhelőerőt és az ott észlelt benyomódásértéket kellett felhasználnunk. A minta nyomásakor fellépő rugalmas deformációk miatt nem közvetlenül a maximális benyomódással, hanem annak egy korrigált értékével, az érintkezési mélységgel fogunk számolni, melyet a 1. képlettel képezhetünk:

$$h_c = h_m - 0.75 \frac{F_m}{S}, \quad (1)$$

ahol  $h_c$  az érintkezési mélység,  $h_m$  a maximális benyomódás,  $F_m$  a maximális terhelőerő, valamint  $S = \frac{dF}{dh}|_{h_m}$ , vagyis az  $F-h$  görbe tehermentesítési szakaszának meredeksége a maximális benyomódás helyén. A leolvasott, illesztett, illetve az 1. alapján számolt értékeket a ?? táblázat tartalmazza.

Anyag	$h_m$ [ $\mu\text{m}$ ]	$F_m$ [mN]	$S$ [ $\frac{\text{mN}}{\mu\text{m}}$ ]	$h_c$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\Delta h_c$ [ $\mu\text{m}$ ]
Al - 0.47% Mg	5.755	299.26	1938.11	5.631	0.145
Al - 0.93% Mg	5.423	299.98	4918.11	5.374	0.258
Al - 1.25% Mg	5.565	299.64	6239.95	5.529	0.213
Al - 1.45% Mg	4.718	299.14	1741.09	4.590	0.062
Al - 2.7% Mg	4.233	299.26	5815.18	4.154	0.522
Al - 4.5% Mg	3.653	299.63	1350.11	3.485	0.029
Al - 7.3% Mg	3.553	299.29	2320.39	3.451	0.057

1. táblázat. A keménységszámításhoz szükséges mennyiségek táblázata

A egyes hibaértékeket az illesztésekből származó hiba terjedésével számoltam. A keménységszámoláshoz szükségünk van a lenyomat felületére, melyet a laborban használt nyomófej esetén

$$A = 24.5h_c^2. \quad (2)$$

Az így számolt keménységértékeket 2 tartalmazza.

Anyag	$A$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	$\Delta A$ [ $\mu\text{m}^2$ ]
Al - 0.47% Mg	776.86	20.02
Al - 0.93% Mg	707.42	33.91
Al - 1.25% Mg	749.04	28.80
Al - 1.45% Mg	516.07	6.99
Al - 2.7% Mg	422.69	53.12
Al - 4.5% Mg	297.56	2.49
Al - 7.3% Mg	291.71	4.83

2. táblázat. A lenyomat számolt felületértékei, valamint azok hibái a benyomódási mélységek relatív hibáiból számolva.

Ezen értékekből a  $HV = \frac{F_m}{A}$  módon számolható keménységértékeket a 3 táblázat tartalmazza.

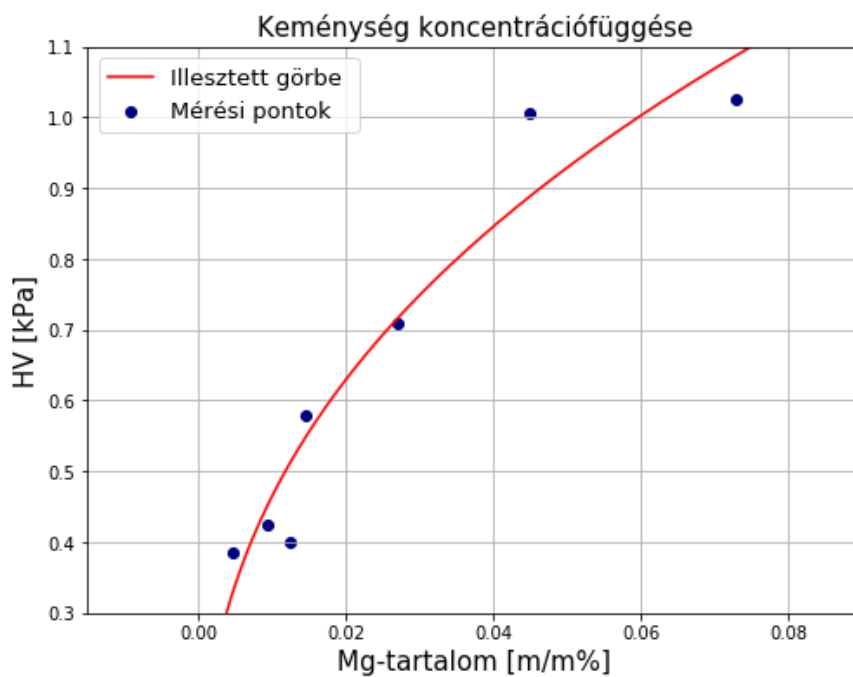
Anyag	$HV$ [kPa]	$\Delta HV$ [kPa]
Al - 0.47% Mg	0.385	0.010
Al - 0.93% Mg	0.424	0.020
Al - 1.25% Mg	0.400	0.015
Al - 1.45% Mg	0.580	0.008
Al - 2.7% Mg	0.708	0.089
Al - 4.5% Mg	1.007	0.008
Al - 7.3% Mg	1.026	0.017

3. táblázat. A számolt keménységértékek táblázata.

Az itt számolt értékekre egy

$$HV = HV_0 + Bc^m \quad (3)$$

alakú görbét illesztettem, ahol a  $c$  a  $Mg$  koncentrációja volt a megfelelő ötvözetben. Az illesztés eredménye a 1. ábrán látható.



1. ábra. Minden paraméter illesztésével kapott görbe

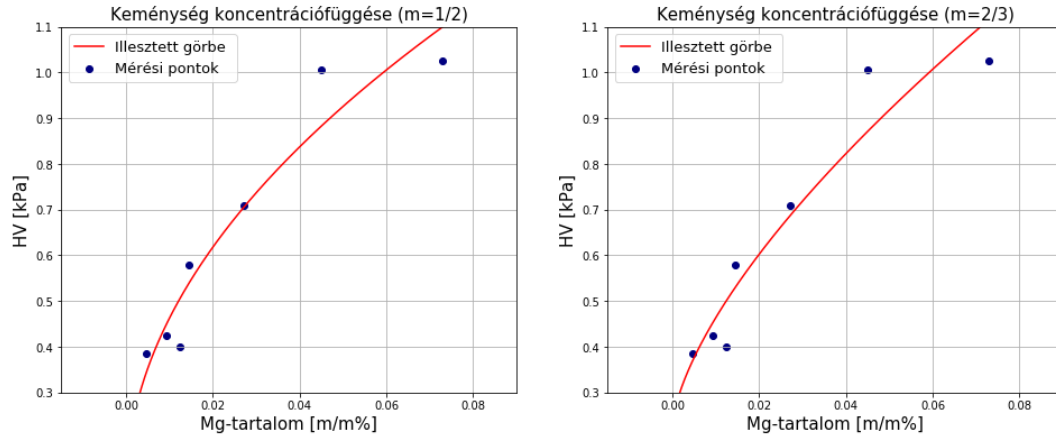
Az illesztési paraméterek:

$$HV_0 = (-0.062 \pm 0.692) \text{ kPa}$$

$$B = (3.216 \pm 1.487) \text{ kPa}$$

$$m = 0.393 \pm 0.379$$

Látszik, hogy az illesztési paraméterek hibája nagyon nagy, rendkívül bizonytalan az illesztés. Ebből az illesztésből sajnos következtetést ezért nem lehet levonni, ezért kötött kitevő,  $m = 1/2$  és  $m = 2/3$  esetre is elkészítettem az illesztést. Az így kapott illesztések a 2. ábrán láthatók.



2. ábra. A kitevő előre megválasztásával kapott illesztések

Az illesztési paraméterek a két illesztés esetén:

$$\begin{array}{ll}
 m = 1/2 & m = 2/3 \\
 HV_0 = (0.089 \pm 0.080) \text{ kPa} & HV_0 = (0.228 \pm 0.068) \text{ kPa} \\
 B = (3.741 \pm 0.489) \text{ kPa} & B = (5.081 \pm 0.709) \text{ kPa}
 \end{array}$$

A paraméterek értékeiből és azok hibáiból jól látszik, hogy az  $m = 2/3$  esetben sokkal kisebb a relatív hiba, ezért mondhatjuk, hogy ez az eset írja le jobban az ötvözetet, vagyis az anyag már nem tekinthető egészen híg oldatnak, figyelembe kell venni az ötvözőatom-diszlokáció kölcsönhatásokat is.