

# **Kúszási deformáció modellezése egyenáram jelenlétében**

**Varga Péter**

**Témavezető: Dr. Ruzinkó Endre**

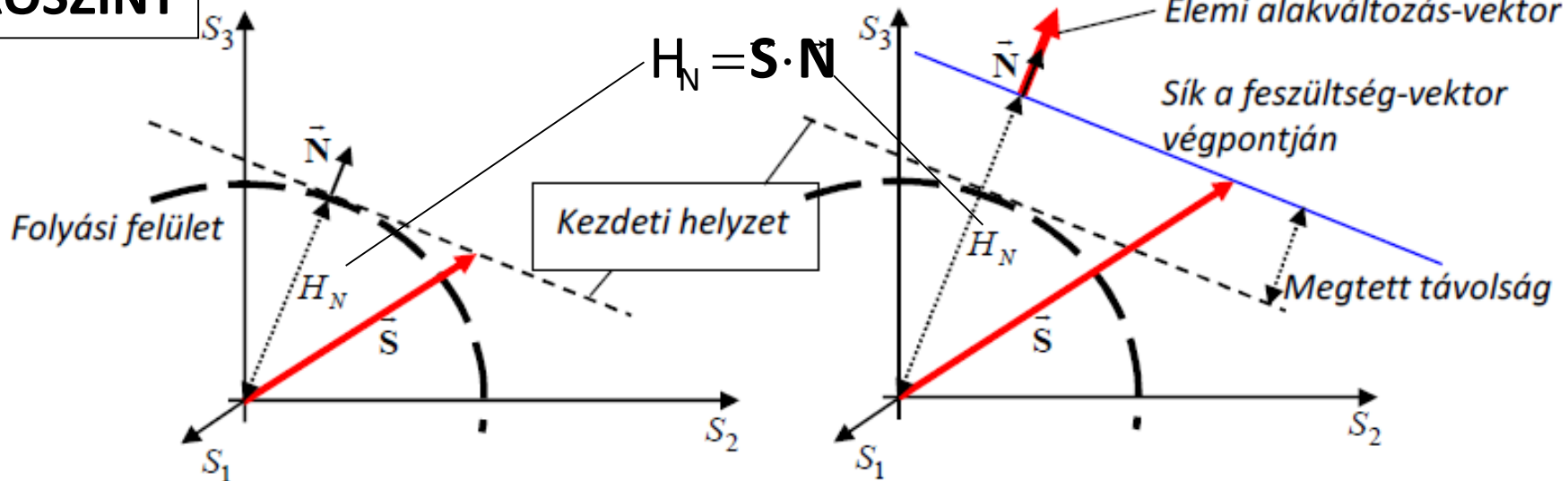
# Célkitűzések

**Az átfolyó áram kúszási alakváltozásra gyakorolt hatásának matematikai leírása a szintézis elmélet alkalmazásával**

**A szintézis elmélet segítségével egy modell megalkotása, mely**

- **a különböző mechanizmusok figyelembevételével jól leírja a kúszási alakváltozást, illetve**
- **a modell kiterjesztése az átfolyó áram hatásainak leírására.**

# MIKROSZINT



Sík és origó közötti távolság a terhelés kezdeti-, ill. végállapotában

Hibaintenzitás ( $\psi_N$ ):

$$H_N = \psi_N + I_N + \sqrt{2}\tau_p \quad (1)$$

Sebesség-integrál:

$$I_N = B \int_0^t \frac{d\mathbf{S}}{ds} \cdot \mathbf{N} \exp(-p(t-s)) ds \quad (2)$$

Visszafordíthatatlan alakváltozás-intenzitás ( $\varphi_N$ ):

**Konstitutív egyenlet**

$$d\psi_N = r d\varphi_N - K \psi_N dt \quad (3)$$

# MAKROSZINT

Makro-alakváltozás-vektor komponensei

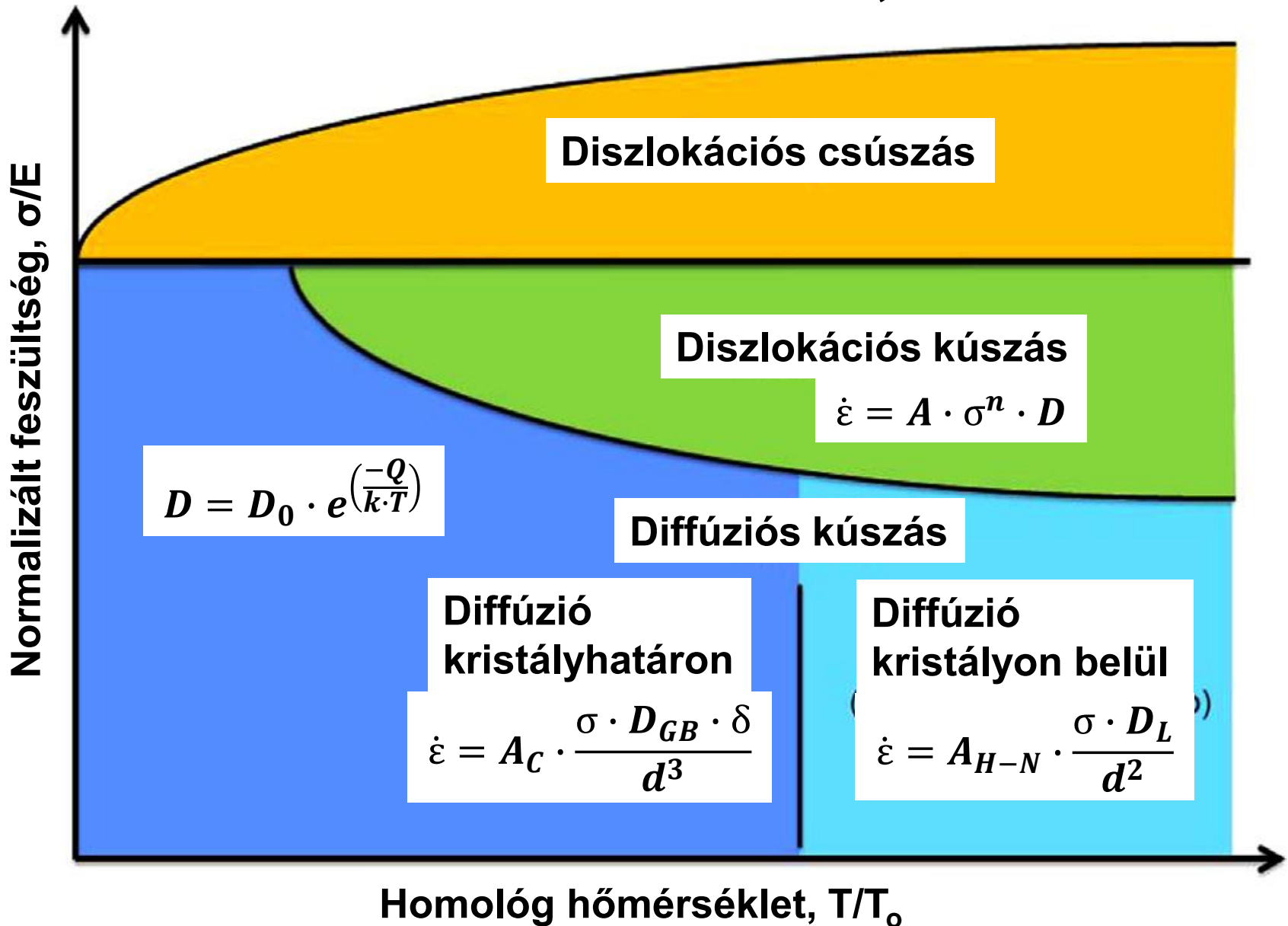
$$e_k = \iiint_{\alpha\beta\lambda} \varphi_N N_k dV \quad k=1,2,3 \quad (4)$$

$$dV = \cos\beta d\alpha d\beta d\lambda$$

$$\varepsilon_x = \sqrt{\frac{2}{3}} e_1 \quad \varepsilon_y = -\frac{e_1}{\sqrt{6}} + \frac{e_2}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

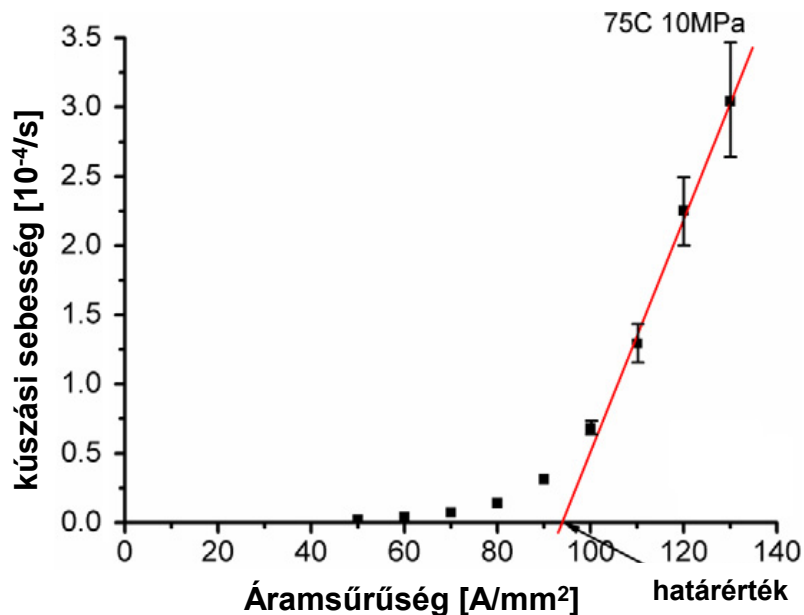
$$\gamma_{xz} = \frac{e_3}{\sqrt{2}} \quad \varepsilon_z = -\frac{e_1}{\sqrt{6}} - \frac{e_2}{\sqrt{2}}$$

# Kúszási mechanizmusok, modellek



# Átfolyó áram hatásai

- Joule-hő
- Elektromigráció, „electroplasticity”
  - Fémrács atomjainak diffúziója (vakanciák, szubsztitúciós atomok)
  - Aktiválási energia csökkenése



# Téma szakirodalmi lefedettsége

<b>Témakör</b>	<b>Publikációk száma</b>	<b>Publikációk megjelenése</b>
<b>Mikroelektronika</b>		
Forraszanyagok	15	2006 - 2013
Mikroelektronikai kapcsolatok	7	1969, 1976, 2000 - 2007
<b>Képlékeny alakítás, mechanikai tulajdonságok</b>		
Képlékeny alakváltozás, electroplasticity	8	1969, 1995, 2000 - 2015
Al-ötvözetek	9	1996, 2008 - 2016
Mg-ötvözetek	3	2009 - 2016
Ti-ötvözetek	2	2013
Bronz	1	2013
Acél (AHSS)	1	2014

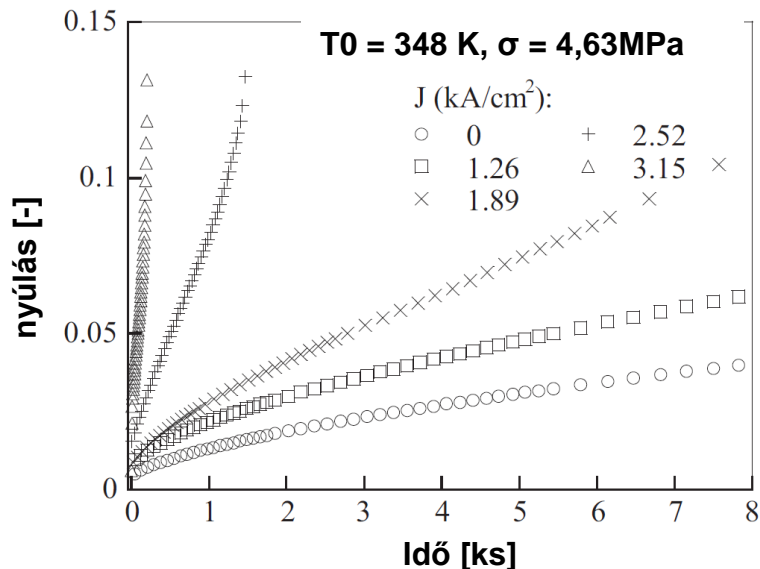
# Eredmények

## Elfogadásra benyújtott cikk

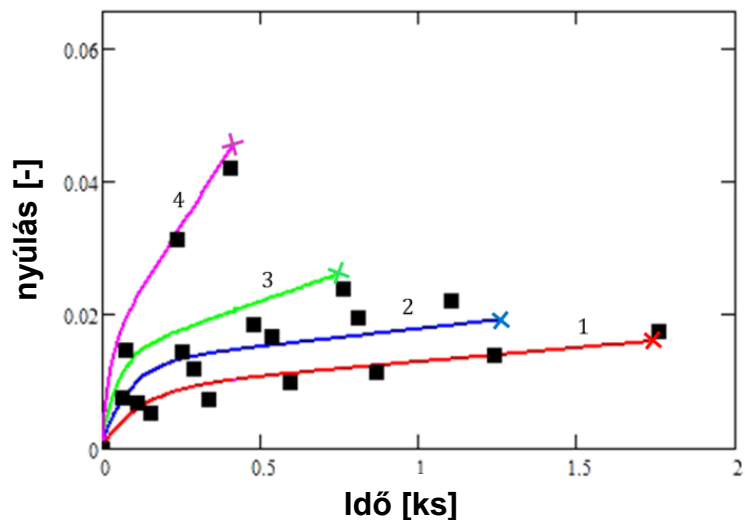
**Andrew Rusinko, Peter Varga: Modelling of the primary creep of metals coupled with DC in terms of the synthetic theory of irrecoverable deformation, Mechanics of Time-Dependent Materials**

- **Átfolyó áram jelenlétében bekövetkező kúszás primer szakaszának leírása a szintézis elmélet segítségével**
- **Szakirodalomban megtalálható kísérleti eredményekre támaszkodva**

**Guangfeng Zhao, Fuqian Yang: Effect of DC current on tensile creep of pure tin, Materials Science & Engineering A591 (2014) 97–104**



$$\dot{\epsilon} = A\sigma^n \left( 1 + \frac{\beta T + 5.23 Q_0 J^2}{RT^2} \right) \exp\left( -\frac{Q_0}{RT} \right)$$



Áramsűrűség, kA/cm <sup>2</sup>	Nyúlás a primer kúszás végén, %			Primer kúszás időtartama, ks		
	Kísérlet	Modell	Hiba, %	Kísérlet	Modell	Hiba, %
0 (1)	1.74	1.59	8.6	1.76	1.73	1.7
1.26 (2)	2.23	1.92	13.9	1.1	1.24	11.3
1.89 (3)	2.61	2.39	8.4	0.73	0.76	3.9
2.52 (4)	4.54	4.22	7.0	0.41	0.4	2.4



$$\psi_N = (\vec{S} \cdot \vec{N})^2 (1 + C^2) - (I_N^C)^2 - S_P^2$$

$$I_N^C = B_C \int_0^t \frac{d\vec{S}}{ds} \cdot \vec{N} \exp(-p_C(t-s)) ds$$

$$C = C_1 J^{C_2}, \quad B_C = B + B_1 J^{B_2}, \quad p_C = p + p_1 J^{p_2}.$$

$$r\varphi_N = \psi_N + K \int \psi_N dt$$

$$e_k = \iiint_V \varphi_N N_k dV$$

# További kutatási tervek

**Modell validálása, kiterjesztése a szakirodalomból származó vizsgálati eredmények felhasználásával**

**Saját kísérletek tervezése és elvégzése**

- **kúszásvizsgálat**
- **szerkezetvizsgálat**

**Köszönöm a figyelmet**