



Óbudai Egyetem

Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Kúszási deformáció modellezése egyenáram jelenlétében

Varga Péter

Témavezető: Dr. Ruzinkó Endre

Tartalom

- **Célkitűzés**
- **Kutatási téma rövid ismertetése**
- **Publikált eredmények bemutatása**
- **További kutatási tervek**

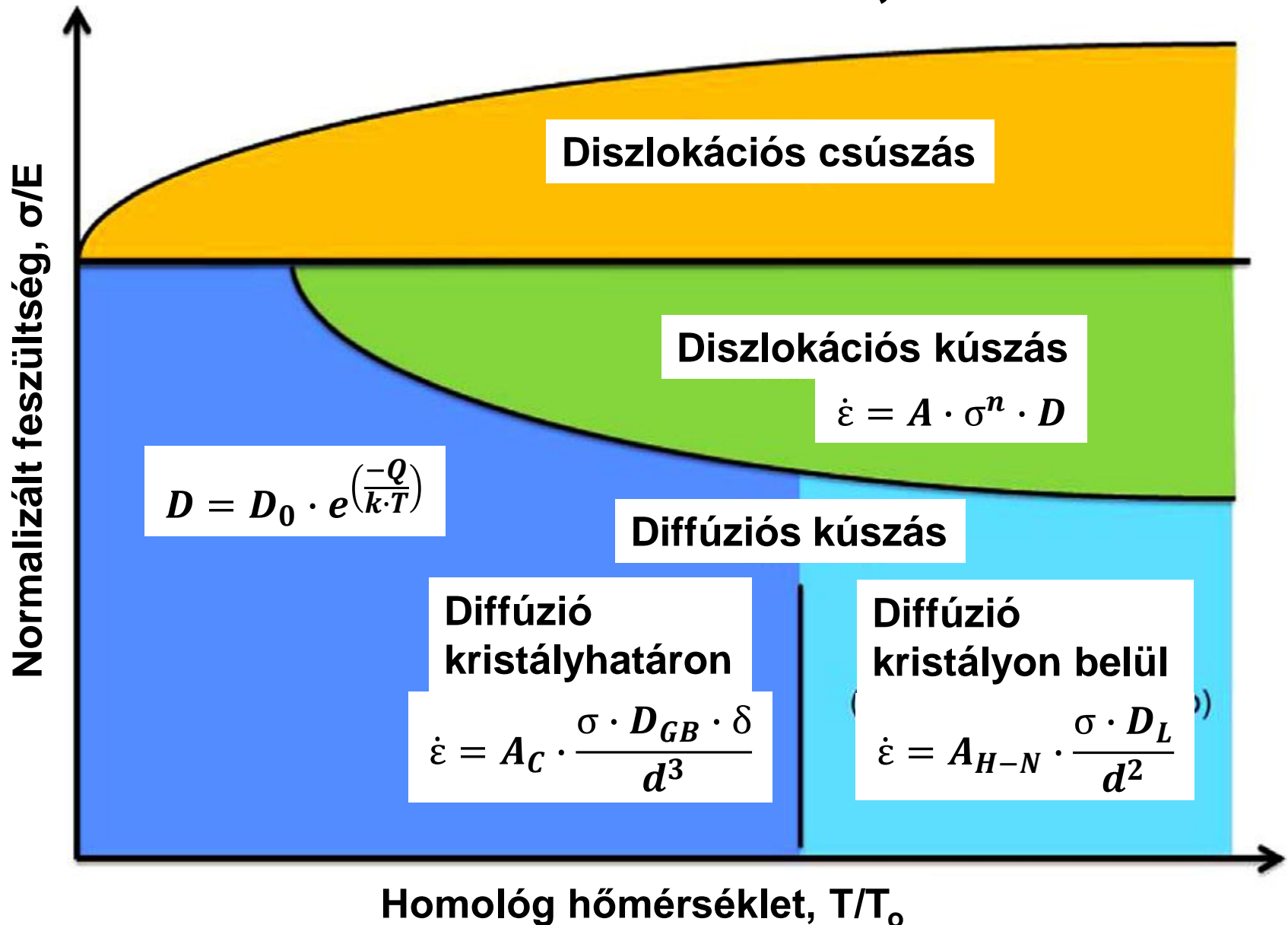
Célkitűzések

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

A szintézis elmélet segítségével egy modell megalkotása, mely a lezajló mikroszerkezeti folyamatok figyelembevételével jól leírja az átfolyó áram hatását a kúszási és képlékeny alakváltozásra.

Az elméleti eredmények igazolása a nemzetközi szakirodalomban fellelhető és saját kísérletek eredményeivel.

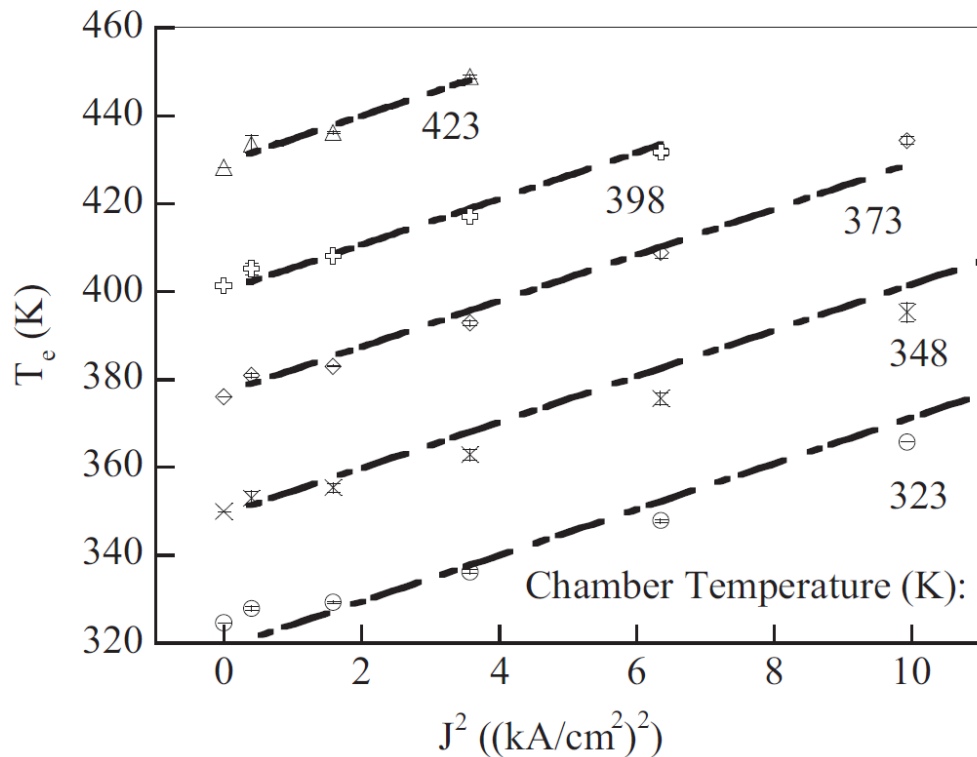
Kúszási mechanizmusok, modellek



Kúszási alakváltozás átfolyó áram jelenlétében

Átfolyó áram hatásai

➤ Joule-hő



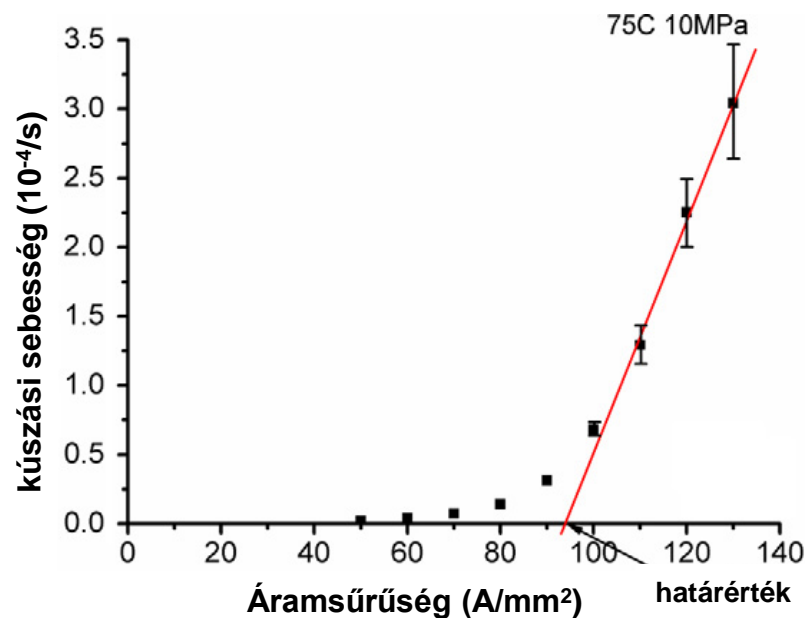
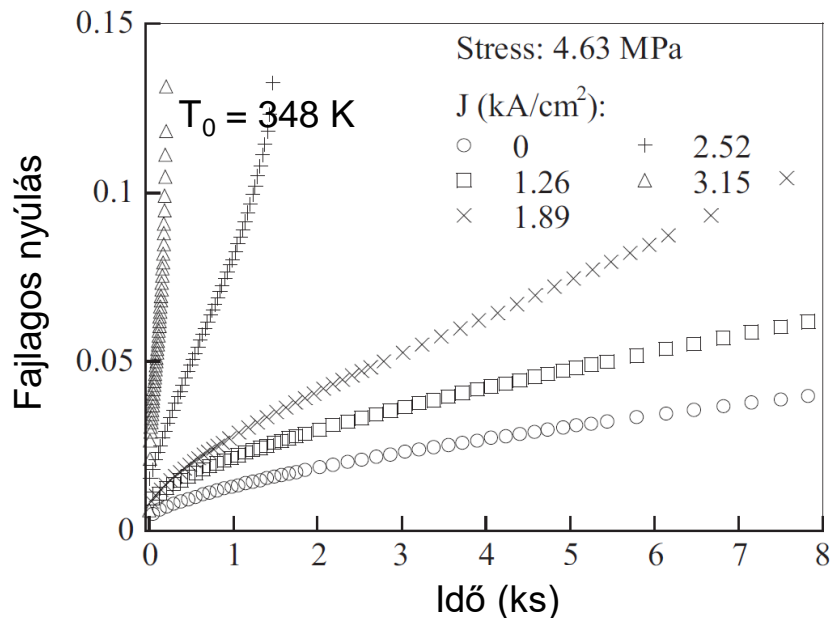
$$T_e = T_0 + 5.23J^2$$

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

Kúszási alakváltozás átfolyó áram jelenlétében

Átfolyó áram hatásai

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



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

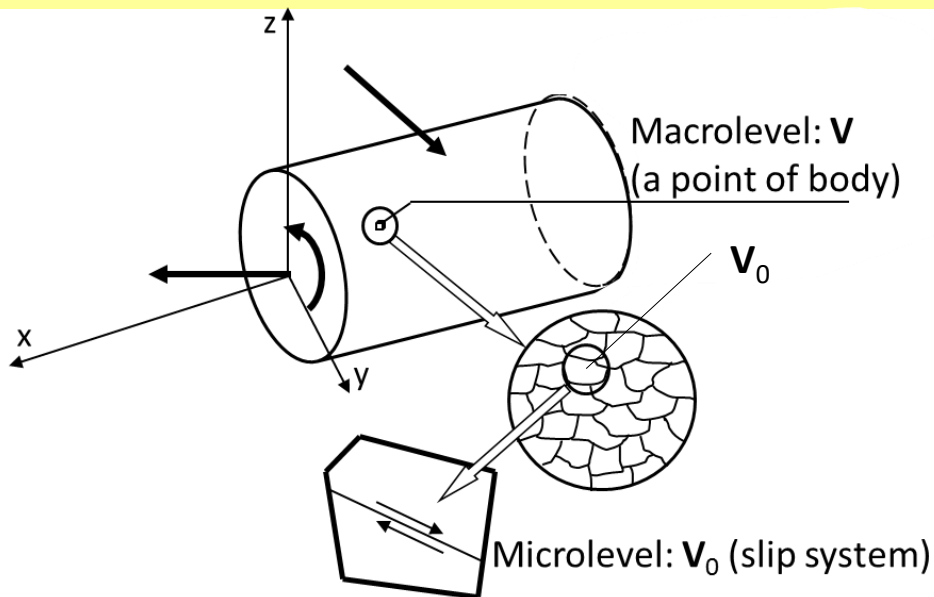
Fei Su et al.: Creep behaviour of Sn–3.8Ag–0.7Cu under the effect of electromigration: Experiments and modelling, *Microelectronics Reliability* 51 (2011) 1020–1024

Alakváltozás leírása a szintézis elmélet segítségével

A szintézis elmélet kétszintű modell:

\mathbf{V} makroszint

\mathbf{V}_0 mikroszint

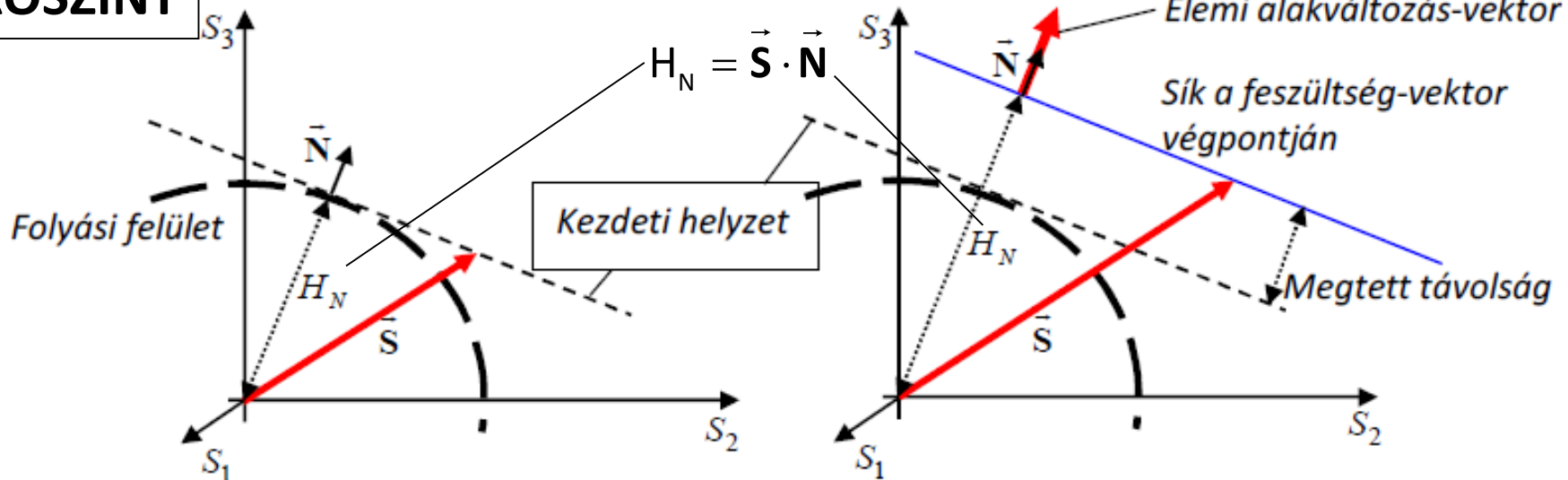


A szintézis elmélet két szintje

Makro-alakváltozás:

$$\varepsilon_{\mathbf{V}} = \sum \varepsilon_{\mathbf{V}_0}$$

MIKROSZINT



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

Hibaintenzitás (ψ_N):

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

Sebesség-integrál:

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

Visszafordíthatatlan alakváltozás-intenzitás (ϕ_N):

Konstitutív egyenlet

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

MAKROSZINT

Makro-alakváltozás-vektor komponensei

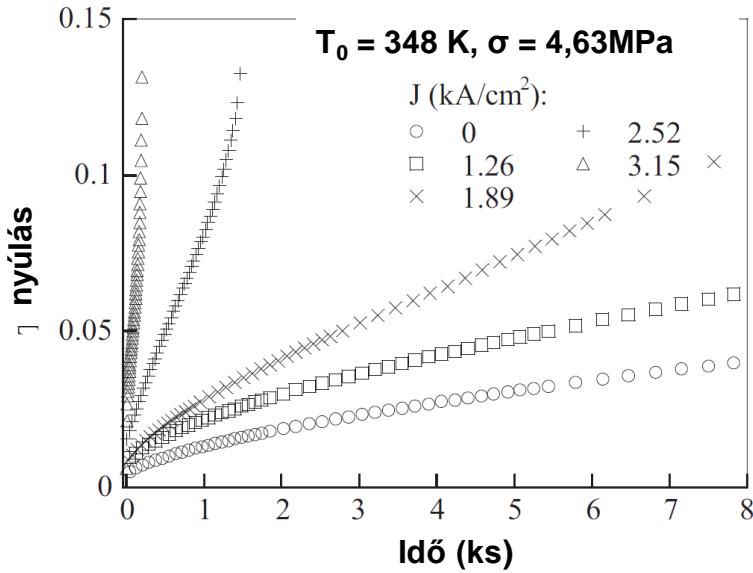
$$e_k = \iiint_{\alpha \beta \lambda} \phi_N N_k dV \quad k = 1, 2, 3 \quad (4)$$

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

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

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

Andrew Rusinko, Peter Varga: Modelling of the plastic deformation and primary creep of metals coupled with DC in terms of the synthetic theory of irrecoverable deformation, *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 2018, DOI 10.1007/s11043-018-9379-y, pp. 1-11.



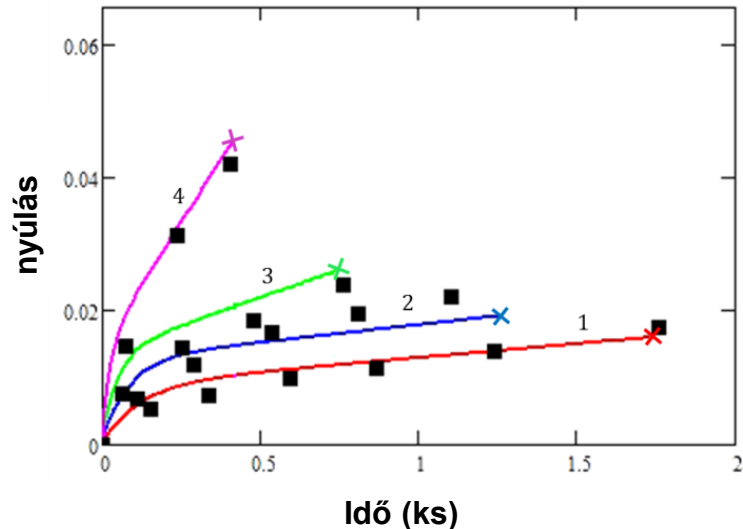
Kúszás primer szakaszának leírása

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

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

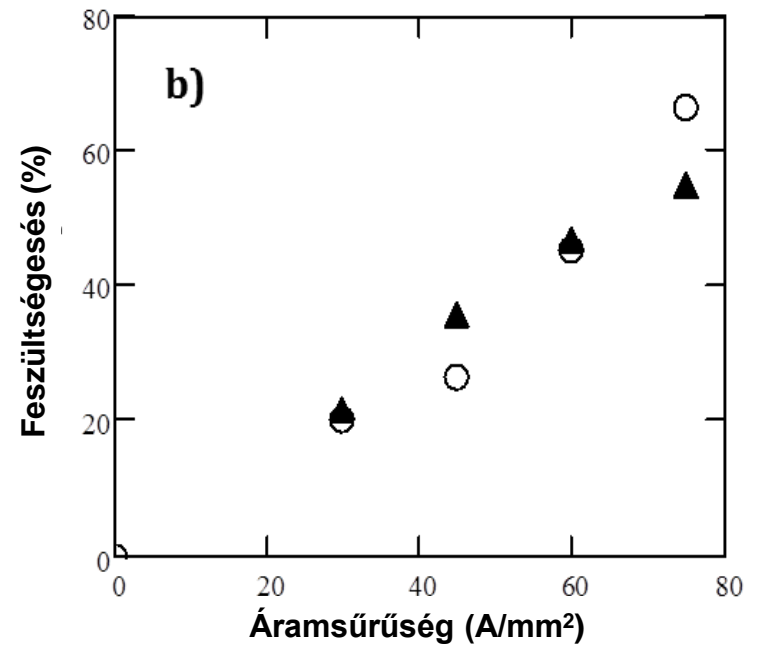
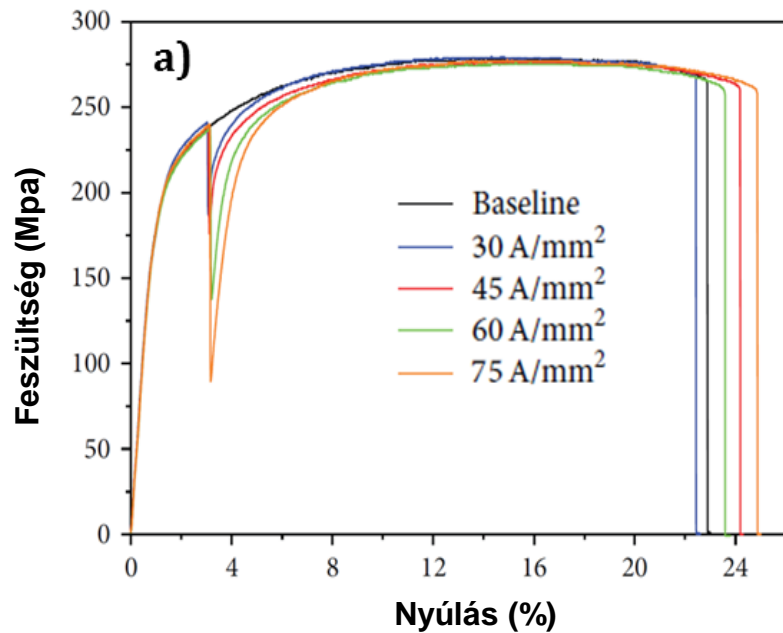
$$C = C_1 J^{C_2}, \quad B_C = B + B_1 J^{B_2}, \quad p_C = p + p_1 J^{p_2}.$$

C, B_C, p_C – állandók, átfolyó áram esetére



Áramsűrűség, kA/cm ²	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

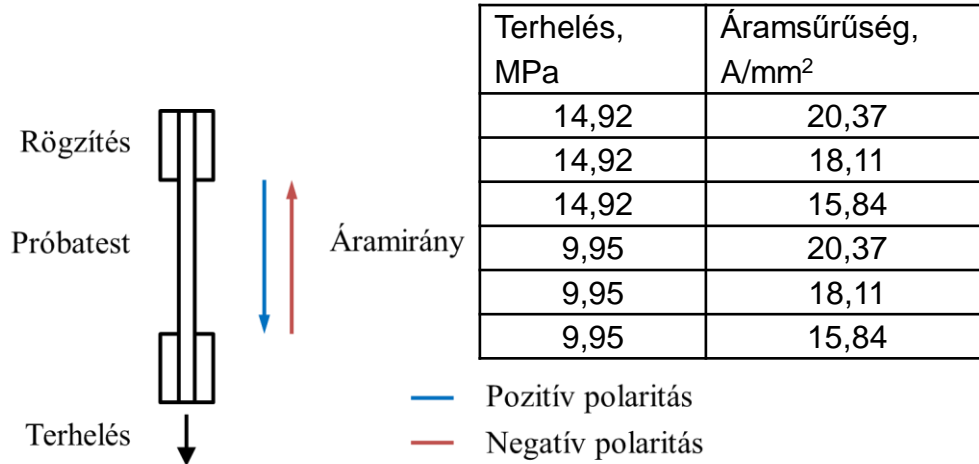
Képlékeny alakváltozás leírása



○ – modell eredmények

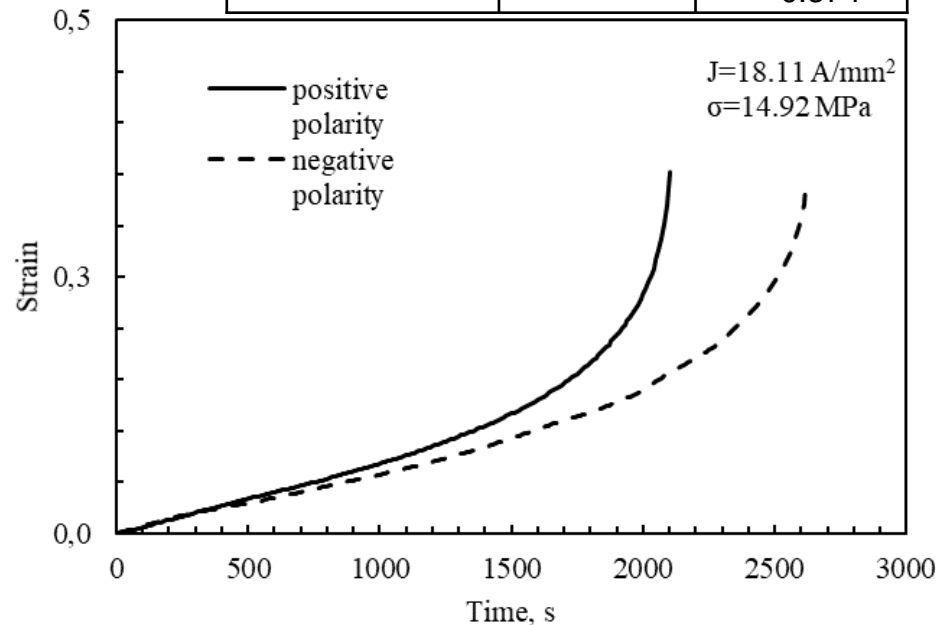
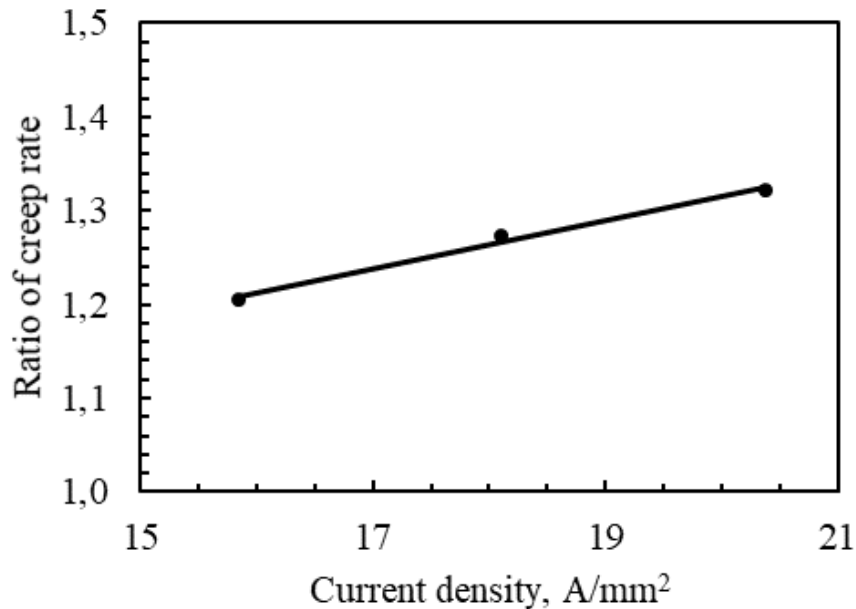
▲ – kísérleti eredmények

Peter Varga, Andrew Rusinko: Modeling the effects of imposed current on the creep of SAC305 solder material, 2018 19th International Conference on Thermal, Mechanical & Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems, 2018, DOI: 10.1109/EuroSimE.2018.8369919, pp. 1-4.



Terhelés, MPa	Áramsűrűség, A/mm ²
14,92	20,37
14,92	18,11
14,92	15,84
9,95	20,37
9,95	18,11
9,95	15,84

Áramsűrűség, A/mm ²	Polaritás	Kúszási sebesség, 10 ⁻⁴ 1/s
20.37	+	1.56
	-	1.18
18.11	+	0.672
	-	0.528
15.84	+	0.451
	-	0.374



Köszönöm a figyelmet