



A keményedési felület fejlődése irreverzibilis alakváltozás során, átfolyó egyenáram jelenlétében

Evolution of loading surface in irrecoverable deformations coupled with DC

¹Ruszinkó Endre, ²Varga Péter

^{1,2}Óbudai Egyetem, Budapest, Magyarország, varga.peter@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

Kutatásunk tárgya az egyenáram hatásának feltárása a fémek irreverzibilis alakváltozására. Az áram jelenléte a nem rugalmas alakváltozás intenzitásának növekedésében mutatkozik meg mind az azonnali képlékeny, mind a kúszási deformáció esetében. Olyan modellt alkottunk az irreverzibilis alakváltozás szintézis elmélete keretén belül, mely figyelembe veszi az áram által gyakorolt hatást a fémek deformációs tulajdonságaira. A képlékeny és kúszási alakváltozás során zajló folyamatok mélyebb megértése céljából részletesen elemezzük a keményedési felület fejlődését.

Kulcs szavak: egyenáram, kúszási alakváltozás, képlékeny alakváltozás, szintézis elmélet.

Abstract

Our research is focused on the effect of direct current upon the irrecoverable deformation of metals. The presence of current manifests itself in the intensification of inelastic flow for the case of both instant plastic and temporary creep deformation. In terms of the synthetic theory of irrecoverable deformation we have developed a model taking into account the influence of current on the deformation properties of metals. For better understanding of the processes occurring during plastic/creep deforming, special attention is paid to the evolution of loading surface.

Keywords: Direct current, creep deformation, plastic deformation, synthetic theory.

1 Bevezetés

Számos kísérleti eredmény tanúsítja, hogy az irreverzibilis alakváltozásra átfolyó egyenáram jelenlétében a következő jelenségek jellemzők [1-3]:

- (i) A szekunder kúszás sebessége nő;
- (ii) A primer kúszási alakváltozás nő, a primer kúszási szakasz időtartama csökken;
- (iii) Az áramimpulzus hatására ugrásszerű feszültség csökkenés jelenik meg képlékeny alakváltozás során.

Az áram mező (elektron szél) által okozott hatások két okra vezethetők vissza [1-3].

- (i) A Joule-hevítés növeli a próbatest hőmérsékletét.
- (ii) Az átfolyó egyenáram elősegíti a diszlokációk csúszását és mászását, továbbá csökkenti a diszlokációs mező ellenállását.

A kutatásunk célja leírni a fenti pontok szerinti jelenségeket a szintézis elmélet keretében. A legnagyobb hangsúlyt az alakváltozások során kialakuló keményedési felület evolúciójára tesszük.

2 Keményedési felület fejlődése a szintézis elmélet szerint; klasszikus eset és az áram jelenlétében

Az átfolyó áram figyelembevételének céljából terjesszük ki a szintézis elmélet alapvető összefüggéseit a következő módon [4-7]:

$$\psi_N = H_N^2(1 + C^2) - (I_N^C)^2 - \sigma_p^2 = (\vec{S} \cdot \vec{N})^2(1 + C^2) - (I_N^C)^2 - \sigma_p^2. \quad (1)$$

ahol, C az áramsűrűség függvénye:

$$C = U(J) \cdot W(T), \quad (2)$$

$$U = u_1 J^{u_2}, W = (w_1 T - w_2)^{w_3} + w_4, \quad (3)$$

$$I_N^C = B_C \int_0^t \frac{d\vec{S}}{ds} \cdot \vec{N} \exp(-p_C(t-s)) ds, \quad (4)$$

$$B_C = B + B_1 J^{B_2}, p_C = p + p_1 J^{p_2}, \quad (5)$$

ahol, J az áramsűrűség, u_k , w_l , B_1 , B_2 , p_1 és p_2 modell állandók, amelyeket úgy kell megválasztani, hogy a legjobb illeszkedést adják a kísérleti eredményekre.

Az (1) képletben a ψ_N hibaintenzitás, H_N az anyag keményedését tükröző mennyiség. Egy csúszási rendszeren belül kialakult irreverzibilis alakváltozás – alakváltozás intenzitás (φ_N) – a következő differenciálegyenletből határozható meg [8]:

$$d\psi_N = rd\varphi_N - K\psi_N dt. \quad (6)$$

Képlékeny alakváltozás-vektor a csúszási rendszereken belül irreverzibilis alakváltozások összegeként (hármassintegrál) határozható meg.

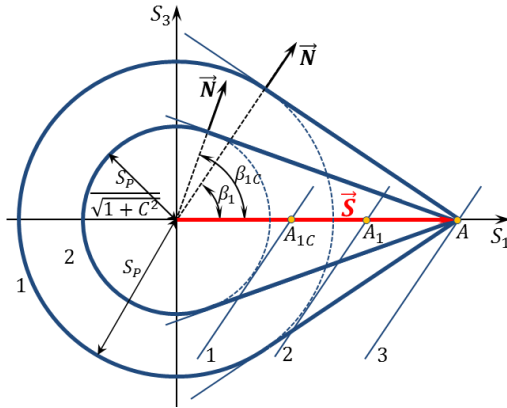
$$\vec{e} = \iiint_V \varphi_N \vec{N} dV. \quad (7)$$

Az (1)-(5) képletek elemzéséből látszik, hogy az átfolyó egyenáram az anyag lágyulásában nyilvánul meg. A képletek alapján megszerkesztett keményedési felületek tisztán alátámasztják ezt az állítást (1.-3. ábra).

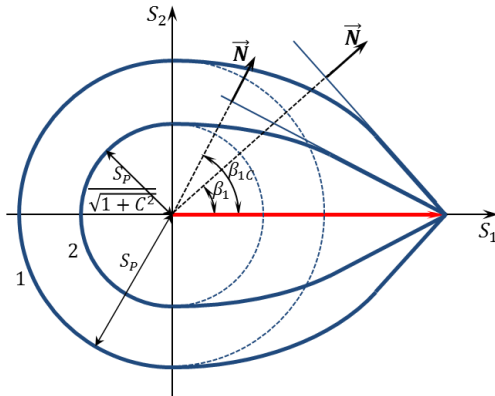
Vizsgáljuk meg például az átfolyó áram hatását az állandósult kúszás esetére a keményedési felületeken keresztül (1. ábra). Tekintsünk két azonos orientációjú síkot 1 és 2, amelyek rendre érintik a 2 és 1 folyási felületet. Könnyen belátható, hogy ha adott feszültség ($\vec{S}$) hatására mindkét sík a 3 pozícióba kerül, az általuk megtett utak különbözni fognak. Ha például a síkok S_1 tengellyel való metszéspontjait tekintjük nyilvánvaló, hogy $AA_{1C} > AA_1$. Ez azt jelenti, hogy az 1 sík által megtett út ($J > 0$) nagyobb a 2 síkhoz képest ($J = 0$). A szintézis elmélet keretében ez úgy értelmezhető, hogy az 1 csúszási rendszeren nagyobb alakváltozás történik a 2-hez képest.

Hasonló helyzetet figyelhetünk meg a 2. ábrán, primer kúszás esetén.

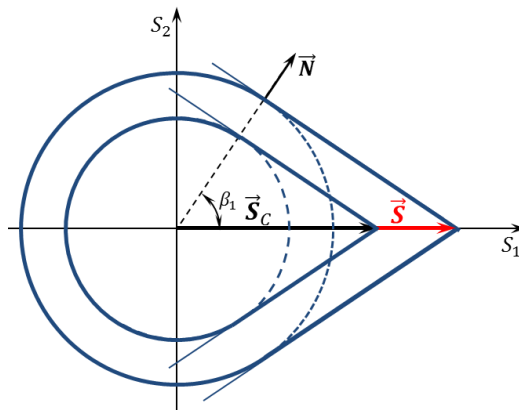
A 3. ábra azt demonstrálja, hogy az elektromos impulzus hatására a síkok ugrásszerűen elmozdulnak az origó irányában. Minden sík ugyanazt az utat teszi meg, azaz a keményedési felület alakja nem változik az impulzus hatására. Ezt megerősíti az a tény, hogy a határsík állása nem változik az áramimpulzus előtti és utáni állapotban.



1. ábra - Keményedési felület állandósult kúszás esetén: $1 - J=0$, $2 - J>0$



2. ábra - Keményedési felület primer kúszás esetén: $1 - J=0$, $2 - J>0$



3. ábra - Keményedési felületek képlékeny alakváltozás esetén az áramimpulzus előtt és után

Az (1)-(7) képletek alapján kapott analitikai eredmények jó egyezést mutatnak a kísérleti adatokkal [5-7].

3 Konklúzió

Az átfolyó egyenáramnak az anyag deformációs tulajdonságaira gyakorolt hatását a keményedési felület részletes elemzésével támasztottuk alá egytengelyű húzás esetében. Leírtuk a keményedési felület fejlődését a következő esetekre: primer és szekunder kúszás, illetve képlékeny alakváltozás egyenáram jelenlétében.

4 Hivatkozások

- [1] Andrawes, J. S., Kronenberger, T. J., Perkins, T. A., Roth, J. T., & Warley, R. L. (2007). Effects of DC current on the mechanical behavior of AlMg1SiCu. *Materials and manufacturing processes*, 22(1), 91-101.
- [2] Nguyen, T. T., Nguyen, T. V., Hong, S. T., Kim, M. J., Han, H. N., & Morestin, F. (2016). The effect of short duration electric current on the quasi-static tensile behavior of magnesium AZ31 alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2016.
- [3] Zhao, G., Yang, F. (2014). Effect of DC current on tensile creep of pure tin. *Materials Science and Engineering: A*, 591, 97-104.
- [4] Varga, P., & Rusinko, A. (2018, April). Modeling the effects of imposed current on the creep of SAC305 solder material. In 2018 19th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE) (pp. 1-4). IEEE.
- [5] Rusinko, A., & Varga, P. (2019). 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*, 23(1), 23-33.
- [6] Rusinko, A., & Varga, P. (2019). Analytical Description of the Steady-State Creep of Metals in the Presence of Direct Current. *Acta Polytechnica Hungarica*, 16(7), 185-196.
- [7] Rusinko, A., & Varga, P. (2019). Loading surface in the plastic and creep straining coupled with direct current. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 58(1), DOI: 10.15632/jtam-pl/xxxxx
- [8] Rusinko, A., & Rusinko, K. (2011). *Plasticity and Creep of Metals*. Springer Science & Business Media.