

Nguyen Quang Chinh

Lapcentrált köbös fémek és ötvözetek képlékeny alakváltozási folyamatainak leírása és elemzése

című akadémiai doktori értekezésének bírálata

BEVEZETÉS

1985 és 1995 között az erős képlékeny alakítás olyan technológiai váltak iparéretté, amelyekben a gépjárművek egyes szerkezeti anyagainak kiemelkedő mechanikai sajátságait a képlékeny alakítás szubmikronos szövetszerkezete szabta meg. Ez a siker jelenti ma is az értekezés széleskörű ipari hátterét.

Érdemes megjegyezni: az erős alakítási technológiák fejlesztése 2005 körül érte el, hogy végtermékei a miniatürizálás igényeinek is megfeleltek, mert ehhez az alakítási technológiának 250 nm-es szemcséjű mintákat is kellett gyártania. Ez a finom méret volt ugyanis annak a feltétele, hogy a mikroszerkezet és a szabad-felület kölcsönhatása a $3\mu\text{m}$ -nél vastagabb hengeres mintákon már eltörpüljön (vö. S28).

1995-re szubmikronos mikroszerkezetek előállításában az erős alakítás két módszere terjedt el: a **könyök-sajtolás** (Equal Channel Angular Pressing, **ECAP**) és az **egy-tengelyű nyomás alatti csavarás** (High Pressure Torsion, **HTP**.) Az ECAP és a HTP technológia anyagtudományi vizsgálatába az ELTE Anyagfizikai Tanszéke egy nemzetközi, erős-alakítási program keretében vett részt, és olyan mintákat használt, amelyek orosz, japán és dél kaliforniai műszaki egyetemekről származtak.

A projekt témáinak céljait a mintákat adó egyetemek anyagfizikai tanszékeinek vezetői szabták meg, és ezért az értekezés eredményeiről írt cikkekben ők is szerzők voltak. Ha azonban kizárólag a cikk témáját javasolták, akkor ezt az utolsó szerzői helyek választásával jelezték. A témaadó kutatók neve és munkahelye a következő: Prof. **T. G. Langdon** (Departments of Aerospace & Mechanical Engineering and Materials Science, University of Southern California, Los Angeles); Prof. **R. Z. Valiev** (Inst. of Physics of Advanced Materials, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Oroszország); Prof. **Z. Horita** (Department of Materials Science and Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japán).)

AZ ÉRTEKEZÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉSE

Az értekezésben 31 oldal jutott a szinfének és ötvözeik mechanikai és mikroszerkezeti sajátságainak vázolására, valamint az ECAP és HTP technológia ismertetésére. A 31 oldalas hossz az értekezés megengedett oldalszáma mellett kompromisszum, mert 2000 után az ECAP és a HTP technológia összefoglaló cikkei 100 oldal felettiek voltak, gyakran adtak 200-nál több hivatkozást, sőt bőven adtak adatokat az értekezés témáira is. A tézisek háttérismereteinek megismerését a jelölt

azzal támogatta, hogy az értekezésébe tartozó cikkeit az interneten is megjelentette. A cikkek bevezetései és hivatkozásai nagyon hasznosak voltak az értekezés újdonság-tartalmának megítélésénél.

A MÉRÉSI MÓDSZEREK ISMERTETÉSE

Ebben a fejezetben 4 oldal jutott arra, hogy a képlékeny alakváltozás vizsgálatára használt mechanikai, mikroszkópiai és diffrakciós mérésekhez használt eszközök nevét és márkáját megtudjuk. A mérések szabványairól és kiértékelésük elméleti hátteréről az olvasónak tehát monográfiákból kellett tájékozódni. A mechanikai mérések szabványairól és azok elméleti hátteréről a bíráló az 1985-ben kiadott Metals Handbook Mechanical Testing című, 8. kötetéből tájékozódott. (Erre a monográfiára [M] szimbólummal hivatkozom.)

A SZAKÍTÓ VIZSGÁLAT PARAMÉTEREI

A bíráló az értekezés angol nyelvű cikkeinek olvasásakor azt látta, hogy a folyásgörbéket a mért adatokból a jelölt a nemzetközi szabványok szerint számította ki, mert a görbéket true stress és true strain koordinátában adta meg. Ennek ellenére az értekezésben a folyásgörbe koordináta-tengelyeire a σ feszültség és az ϵ deformáció magyarázat nélkül lett írva.

A bíráló úgy gondolja, hogy ezt a felíratot az indokolhatta, hogy a jelölt tudta, hogy náluk mindenki a true stress és true strain koordinátákat használja. A megoldás tehát csak azokat zavarja, akik nem ismerik ugyan a vonatkozó szabványokat, de világosan látják, hogy a kontinuum-mechanikában egy homogén test alakváltozását csak átlagértékek írhatják le. Természetesen elvi kérdés, hogy a várt átlagolás módját meg kell-e adni az értekezésben, vagy elég az [M] monográfiára hivatkozni.

A bíráló szerint az értekezés 47. oldalán a III.6. ábra piros görbéinek anyagtudományi értelme is magyarázatra szorul. Célszerű lehetne tehát a hiányolt átlagolás tapasztalati hátterét mégis felvázolni.

Célszerű abból kiindulni, hogy a szakítógépes vizsgálat alapvető eleme a kereszttrúdnak a minta tengelyével párhuzamos állandó V sebességű mozgatása a terhelő erő irányával szemben.

A true stress és strain paraméterek választásának alapja az, hogy ezekben a koordináták adott V sebességnél állandó deformációs sebességet kapunk.

A szabványos minta henger vagy téglalakú és a befogó pofák vastagok a minta vastagságához képest. A minta alakváltozását, a „minta L hosszát”, két tengelyre merőleges keresztmetszetének távolságával jellemezzük. A méréshez kiválasztott síkoknak a minta végétől elég távol kell lenni ahhoz, hogy a terhelő erő homogén terhelő feszültséget keltsen a mérés referencia síkjain. Henger esetében ez a követelmény

akkor teljesül, ha a referencia síkok legalább három hengersugárnyira vannak a minta-befogók hozzájuk közeli végéhez. A referencia síkok távolsága a t idő pillanatban $L(t)$ és a szakítás előtt L_0 , területüké viszont $A(t)$ illetve A_0 . Ha a mintában nincs fázis átalakulás, akkor a minta sűrűsége a szakítás során a tapasztalat szerint állandó, és a σ **effektív feszültség** értéke $(F/A_0) \cdot (L(t)/L_0)$.

Az **effektív deformáció** nyújtás, illetve kompresszió $\ln((L(t)/L_0))$, illetve $\ln((L_0/L(t)))$.

Az effektív alakváltozás időderiváltja az időben állandó V/L_0 érték lesz, és ezzel a folyásgörbe egyik függvénye egy a szakítógépen beállítható paraméterré válik.

A true strain bevezetésének az is előnye, hogy az azonos mintán terhelési módban a t_1-t_2 és t_2-t_3 időintervallumon mért logaritmikus deformációk összeadódnak.

Mivel az utóbbi szabályra sokan csak homályosan emlékeztek, ezért a III.6. ábra piros folyásgörbéjéből azt a hibás következtést vonták le, hogy ezt az összeadási szabályt az ECAP módban alakított mintára akkor is lehet alkalmazni, amikor azt szakító-diagrammal minősítjük. Ez azonban nem igaz, mert a különböző alakítási módban kapott deformációk nem adódnak össze, mert a mód-váltás során a mikrostruktúra mérhető változást szenved. Ez a jelség az egytengelyű nyújtás és egytengelyű kompresszió esetében igen jól ismert ([M]).

AZ ÉRTEKEZÉS EREDMÉNYEI

Az értekezés tézisei azt emelik ki, hogy az ECAP és HPT technológia fejlesztésének projektében kapott minták sokoldalú kísérleti vizsgálatában olyan eredmények születtek, amelyek megfeleltek a várakozásoknak. Ez azt mutatja, hogy a minőségbiztosításra használt módszerek megválasztása és megvalósítása kiértékelés volt a hazai mérésekben. Ezért a tézisek azt hangsúlyozták, hogy a mérések feltett anyagszerkezeti háttérét mikroszerkezeti modellek konstitutív egyenleteiben szereplő időfüggetlen paramétereinek illesztésével elemezték.

1) tézis

A tézis tárgya a szabványos szakítóvizsgálat kiértékelésére alkalmas konstitutív egyenletrendszer kidolgozása, amelyben a független változó a nyújtás illetve kompresszió előrehaladásának ideje, és állandó paraméterei a T hőmérséklet és a keresztfej mozgásának állandó V sebessége és a minta S sűrűsége. Az egyenletrendszer a feszültséget, a σ deformációt és a minta $N_1, N_2, \dots, N_n$ mikroszerkezeti paraméterét az idő függvényének tekinti. Az egyenlet a függvények kezdeti értékét adottnak veszi. Az egyenletrendszer első egyenlete a folyásfüggvény időfüggésének meghatározása adott kezdeti feltételek mellett. Ha egy mintát több egymást

követő mérésben vizsgálunk, akkor minden mérési periódusra új folyásfüggvényt határozhatunk meg.

Az N_i mikroszerkezeti paraméter egyenlete a vizsgálandó modellre feltételezett anyagi egyenlet feszültség és deformáció függését írja le.

Az értekezés I.1 alfejezete szerint ilyen egyenletrendszert először 2003-ban Mecking és Kocks adott az (5) folyásfüggvényre és a (4) és (6) anyagi függvényre.

Az értekezés a S4 cikke megmutatja, hogy a szerzők által feltételezett folyásgörbe egyenlet és három Mecking és Kocks által használt anyagi egyenletrendszer analitikus megoldása mellett a folyásfüggvény mért értékei a teljes mért tartományban úgy illeszthetők, hogy a vizsgált minta szerkezetének effektív diszlokáció paramétereit is megadják a vizsgálat megkezdésekor.

Mivel ezt az illesztést a szerzők ECAP kezelt minták teljes mért folyásgörbéjére meghatározták, a **minősítendő minta szerkezetére is mennyiségi jellemzőket nyertek**. Nyilván ezen az alapon a mért folyás görbe adott alacsony deformációjának folyásfeszültsége az ECAP minta jó jellemzője, ahogy a tapasztalatok alapján ezt mindenki természetesnek is veszi.

Az elvégzett kísérletek (S1-S4) azt mutatják, hogy a javasolt mérési eljárás hatásos.

Ez az eredmény a bíráló meggyőződése szerint tézis értékű, és ezért a tézis elfogadását javasolja.

2 tézis

A szerzők az 1) tézis egyenletrendszerét az állandó feszültséghez tartozó egytengelyű stacionárius kúszás leírására is kiterjesztik. A kísérletek a kiterjesztés hatásosságát bizonyítják (S2).

A tézis elfogadását javasolom.

A 3),4),5),6),7) és 8) tézisek idézett cikkeinek angol szövegét olvastam. Ezek kísérletei gondosak, és magyarázatuk módja publikált. A tézisek elfogadását javasolom.

Az értekezés szövege jól érthető, és ritka elírásai lényegtelenek.

A doktori művet a nyilvános vitára alkalmasnak tartom

Budapest, 2015. október 30.

Gaál István
a tudományok doktora

Cím 1126 Budapest, Tóth Lőrinc u 34. Telefon: (1) 214-99-17 E-mail:
d.merkel@t-online.hu