XIV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2009. március 26-27.

TERMIKUSAN AKTIVÁLT FOLYAMATOK MODELLEZÉSE

Mucsi András, Borossay Béla

Abstract

The paper deals with determination of proper equations for describing the thermally activated metallurgical processes. It gives an overview of the traditional applicable methods and introduces a new approaching way to determine the parameters of isothermal process equations. This new kind of estimation is based on the evaluation of heat treatment trials with arbitrary heat cycles.

Keywords:

rekristallization, aluminium, activation energy

Összefoglalás

A dolgozat a termikusan aktivált fémteni átalakulások folyamatleíró egyenleteinek meghatározásával foglalkozik. Az eddigi módszerek bemutatása mellett bevezet egy olyan számítási módszert, melynek segítségével az izoter-mikus körülményekre vonatkozó egyenletek paraméterei meghatározhatók tetszőlegesen változó hőmérsékletű mérősorozatok eredményeiből.

Kulcsszavak:

újrakristályosodás, alumínium, aktiválási energia

1. Bevezetés

A termikusan aktivált átalakulási folyamatok azok a szövetszerkezeti módosulással járó változások, melyek sebessége a hőmérséklet növelésével nő. Ilyenek az újrakristályosodás, a martenzit megeresztődése, a mikroszerkezet homogenitását célzó diffúziós izzítások, és egyes kiválási folyamatok. A dolgozat a termikusan aktivált folyamatok modellezését újrakristályosítási mérősorozatok alapján mutatja be. A rekristallizáció folyamatát és a tulajdonságok változását az 1. ábra szemlélteti.

Az újrakristályosító hőkezelés során feltételezhetjük, hogy a keménység az átalakult hányad lineárisan csökkenő függvénye [3]:

$$x = \frac{HV_{\max} - HV(t)}{HV_{\max} - HV_{\min}} \quad (1)$$

1. ábra. Egyes tulajdonságok és a szemcseszerkezet változása újrakristályosodás során

A folyamatok izotermikus körülmények mellett az Avrami összefüggéssel (2), illetve Arrhenius-egyenlettel (3) írhatók le. [2]

$$x = 1 - e^{-k \cdot t^n} \quad (2)$$

$$k = A \cdot e^{-\frac{Q}{R \cdot T}} \quad (3)$$

A folyamatok modellezése változó hőmérsékletű hőkezelések esetén a 2. ábra szerinti módszerrel válik lehetővé [1].

1. ábra. Átalakulási folyamat modellezés változó hőmérséklet esetén

Tegyük fel, hogy egy tetszőlegesen kis intervallumon belül a változó hőmérsékletet konstansnak tekintjük, ekkor a T_1 hőmérséklethez tartozó görbén 0-tól t_1 ideig az (1) egyenlet segítségével kiszámíthatjuk az átalakult hányadot (x_1). Ezután a következő rövid intervallumon megint állandónak tekintjük az előzőhöz képest megváltozott hőmérsékletet (T_2), és kiszámítjuk, hogy ezen a hőmérsékleten mennyi (fiktív) időnek kellett volna eltelnie ahhoz (t_2), hogy éppen x_1 legyen az átalakult hányad. A T_2 hőmérséklethez tartozó görbén megint Δt ideig haladva az $x_2 - x_1$ átalakult hányadot a következőképpen számíthatjuk:

$$x_{2-1} = e^{-k_2 \cdot t_2^n} - e^{-k_2 \cdot (t_2 + \Delta t)^n} \quad (4)$$

Ennek segítségével felírhatjuk a T_2 hőmérsékleten az átalakult hányadot:

$$x_2 = x_1 + x_{2-1} \quad (5)$$

Az így kiszámolt x_2 átalakult hányad segítségével ismét kiszámíthatjuk a T_3 hőmérsékletéhez tartozó k_3 sebességi állandót és t_3 időt. A ciklus az eddig leírtak szerint ismétlődik tovább.

2. A modell és a kísérletek

A ismertetésre kerülő módszerrel az izotermikus körülményekre vonatkozó egyenletek (2), (3) paraméterei meghatározhatók tetszőlegesen változó hőmérsékletű hőkezelések mérési eredményeiből. A módszer lényege, hogy a próbatesteket tetszőleges hőkezelési ciklusnak vetjük alá, közben regisztráljuk a hőmérsékletet az idő függvényében. Ezután lemérjük a próbatest keménységét, majd az (1) egyenlet segítségével kiszámítjuk az átalakult hányad értékét. Ha ismernénk a (2) és (3) összefüggések n , A és Q értékeit, a 2. ábra szerinti módszerrel is kiszámíthatnánk az átalakult hányadot. A feladat tehát az, hogy keressük n , A és Q azon értékeit, melyekre igaz, hogy

$$\min \left[\sum (x_{\text{mért}} - x(n, A, Q)_{\text{számított}})^2 \right], \quad (6)$$

azaz keressük azokat az n , A és Q értékeket, melyekkel számolva a mért és a számított értékek a legkevésbé térnek el egymástól. A megoldáshoz QBASIC programot készítettünk. A paraméterek meghatározásához sok mérésre van szükség, ellenkező esetben lokális minimumértékeket észlelünk, azaz hamis gyököket is kaphatunk. A kísérletek során öt anyagminőséget (ipari tisztaságú Al, Cu, Ni, Fe, Ti) vizsgáltunk; több mint 100 változó ciklusú hőkezelést végeztünk, és értékeltünk ki.

3. A kísérletek eredményei

A fémek aktiválási energiája a természetes olvadáspontjukkal hozható összefüggésbe. A mérési eredményeink szerint minél magasabb egy fém olvadáspontja, annál nagyobb az aktiválási energiája. Az aktiválási energia hőmérsékletfüggését a 3. ábra mutatja.

3. ábra. Az aktiválási energia olvadáspontfüggése

Az aktiválási energiát a 3. ábra szerinti függvényillesztés alapján a következő formulával írhatjuk le:

$$Q(T) = 0.0004 \cdot T^{2.6358} \quad (7)$$

A (7) összefüggést felhasználva következtethetünk a többi fém aktiválási energiájára, ezzel lehetővé téve az újrakristályosítási paramétereik meghatározását.

A kísérleti anyagok Avrami-kitevője, és az alakítási felkeményedés intenzitását kifejező $k_f = c \cdot \lambda^n$ alakú folyásgörbe keményedési kitevője között is találtunk összefüggést. Minél nagyobb az Avrami kitevő értéke, annál nagyobb a folyásgörbe n kitevőjének értéke is. Az Avrami-kitevő más anyagtulajdonsággal való összefüggése alaposabb vizsgálatra vár.

A legjobb közelítést adó paraméterek esetén a számított és mért átalakult hányad értékek korrelációját a 4. ábra mutatja alumínium illetve réz esetén.

4. ábra. Korreláció a próbatestek rekrisztallizációs vizsgálata során

Módszerünk újdonsága, hogy a matematikai modell paramétereit nem izotermás vagy „folyamatos”, hanem tetszőleges ciklusú hőkezelési kísérletekből származtatja. Így kiküszöböli azokat az elvi pontatlanságokat, melyek a kísérleti hőkezelések technikai bizonytalanságából adódnának. A kísérletek eredményei felhasználhatók a hőkezelések költségeinek illetve időtartamának optimalizálására.

Irodalom

- [1] Gergely Márton: *Az austenit izotermás és folyamatos lehűlés közben végbemenő átalakulásai közötti összefüggések*, Bányászati és Kohászati Lapok Kohászat, 104. évf., 1971. 7. sz., (309-313)
- [2] P.N. Kalu, D.R. Warybo: *A JMAK-Microhardness Model for Quantifying the Kinetics of Restoration Mechanisms in Inhomogeneous Microstructure*, Acta Materialia, 30 November 2005. (68-75)
- [3] G. Benchabane, Z. Boumerzoug, I. Thibon, T. Gloriant: *Recrystallisation of pure copper investigated by calorimetry and microhardness*, Materials Characterisation, 2008., (1425-1428)

Mucsi András, főiskolai hallgató
Munkahely: BMF-BGF
Cím: H-1081 Budapest, Népszínház u. 8.
E-mail: mucsi.andras@freemail.hu

Borossay Béla, intézeti mérnök
Munkahely: BMF-BGK
Cím: H-1081 Budapest, Népszínház u. 8.
E-mail: borossay.bela@bgk.bmf.hu