FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2004. március 26-27.

DENDRITES STRUKTÚRÁK KOMPLEX MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE

Póliska Csaba, Gácsi Zoltán, Barkóczy Péter

Absztrakt

A dolgozatban különböző módon előállított dendrites struktúrák morfológiai jellemzésével foglalkozunk. Évek óta kísérletezünk SCN (succinonitrile) - acetone bázisú modellanyag dendrites kristályosításával, melynek során kialakítottunk egy jól használható képfeldolgozási és elemzési eljárást az alak jellemzésére. Munkánk során többféle módon keletkezett dendriteket használtunk fel a mérések céljaira. Az általunk kristályosított dendriteken kívül különböző szimulációk eredményeképpen keletkezett dendriteken is végeztünk méréseket, és mint különleges dendritalakokat, többféle hópehelyformát is jellemeztünk. Dolgozatunkban az alkalmazott paraméterek közül mutatunk be néhányat.

Abstract

The morphology of dendritic structure is characterized in this paper. We have been experimenting with solidification of SCN (succinonitrile) - acetone model material for years. We have applied image analysis to the characterization of the shape. We have developed an available method of the characterization of the shape. Different art of dendrites have been applied to the measurement. Not only the dendrites we have solidified were characterized but dendrites of different simulations (like essential dendritic shapes) and various form of snow-flakes. In this work a couple of applied parameters are displayed.

Bevezetés

Dendrites, vagy ahhoz hasonló struktúra nagyon sokféle módon keletkezhet [1, 2, 3]. Munkánk során először geometriai paraméterek mérésével foglalkoztunk [4]. Szemmel látható volt azonban, hogy a kristályosodás során kialakult dendritek nemcsak geometriai paramétereikben, hanem alakjukban, morfológiájukban is jelentősen különböznek egymástól. Ennek megfelelően olyan morfológia paraméterek keresésébe fogtunk, melyekkel az alak kellőképpen leírható.

Orientációs rózsza diagram szerkesztése [5]. Az orientációs rózsza diagramot úgy kapjuk, hogy a detektált képre vízszintes irányú tesztvonalakat fektetünk, majd 0° - 360° -os intervallumban forgatva a detektált képet, meghatározzuk a tesztvonalak és a dendrit területének a metszés számait. Ezek után polár koordináta-rendszerben ábrázoljuk az összetartozó fok-metszés szám értékpárokat. A diagram alakja utal az alakzat szimmetriaviszonyaira.

Orientációs faktor meghatározása [5]. A dendriteket, pontosabban a dendrit kerületének pontjait úgy tekintettük, mint részlegesen orientált, síkon elhelyezkedő vonalrendszer. Ez alapján a következő képlettel határozhatjuk meg az orientációs faktort (Ω_{vs}):

$$\Omega_{vs} = \frac{(P_L)_m - (P_L)_p}{(P_L)_m + (\frac{\pi}{2} - 1)(P_L)_p} \quad (1)$$

$(P_L)_m$: A dendritre, a hossz tengelyével merőleges irányban fektetett tesztvonalak, és a dendrit határoló görbéjének a metszés számai,

$(P_L)_p$: A dendritre, a hossz tengelyével párhuzamos irányban fektetett tesztvonalak, és a dendrit határoló görbéjének a metszés számai.

A *Saltykov-féle alaktényező* [6] azt mutatja meg, mennyire körszerű az adott alakzat, jelen esetben a dendrit.

$$\Phi_s = 2\sqrt{\pi} \frac{\sqrt{T}}{K} \quad (2)$$

A Φ_s meghatározásához a dendrit T területének és K kerületének az ismeretére van szükség. Az egyszerű képlet alapján kapott érték minél jobban közelít az 1-hez, annál körszerűbb az alakzat (1 esetén körről van szó).

A *fajlagos felület* kiszámítása szintén egy nagyon egyszerű összefüggés segítségével történik, melyhez csak a dendrit területére (T) és kerületére (K) van szükség.

$$S_v = \frac{K}{T} \frac{4}{\pi} \quad (3)$$

A szövetszerkezetben meglévő periodicitás kimutatására jól használható a *kovariancia*. Az irodalomban értelmezett kovariancia viszont csak az egymásra merőleges $\vec{h}(x)$ és $\vec{h}(y)$ irányban meglévő periodicitást képes kimutatni. Az ilyen esetek miatt a kovarianciát ki kell terjeszteni körszimmetrikus alakzatokra. A kovariancia ekkor az eredeti kép és egy adott szögben $\vec{h}(\varphi)$ elforgatott kép metszete lesz, s a közös területet az elforgatás szögének függvényében ábrázolva a körszimmetriára jellemző diagramhoz jutunk. Ha a szövetképet a másik változó, a sugár irányában $\vec{h}(r)$ eltoljuk, majd az eredeti és az eltolts kép metszetét meghatározzuk, akkor a sugárirányú rendezettséget is vizsgálhatjuk [10].

Képfeldolgozás és mérés

A mérésekhez felhasznált dendrites struktúrák négy különböző forrásból származtak. Általunk kristályosított dendritek nagy számban álltak rendelkezésünkre, és mivel többféle kísérleti beállítást is alkalmaztunk munkánk során, ezért ezek már különböztek morfológiájukban [7]. A variálható kísérleti beállítások az alábbiak voltak:

- a gravitációs vektor irányával megegyező irányú kristályosítás (továbbiakban „le”),

- a gravitációs vektor irányával ellentétes irányú kristályosítás (továbbiakban „fel”),
- a gravitációs vektor irányára merőleges irányú kristályosítás (továbbiakban „víz”),
 illetve:
- s2 kristályosítási sebesség: 0,001 mm/s
- s4 kristályosítási sebesség: 0,003 mm/s

A fenti beállítások kombinálásával összesen hat kísérletet végeztünk el, és minden kísérletet 100-100 kép felhasználásával értékeltünk ki. A másik nagy alakzatcsoportot a hópolyhek alkották [9]. Ezek a képek gyakorlatilag nagy felbontású makrofotók, melyek sajnos azonban nincsenek kalibrálva. Vizsgálataink harmadik részét pedig az ún. fázismező metódussal [8] készült szimulált dendritek jelentették. Mivel a nagyítások nagyon különbözőek voltak, illetve egyes esetekben nem is ismertük a nagyítás értékét, ezért minden képet olyan méretűre alakítottunk, hogy egy 512*512 pixelnagyságú négyzetbe pontosan beférjenek.

A képátalakítások során az volt a célunk, hogy a dendritet elkülönítsük a környezetétől. Ez azt jelentette, hogy a kép fényerejét, kontrasztját addig változtattuk, amíg a dendrit határfelülete élesen el nem vált a háttértől. Ezek után a dendrit belsejét kitöltöttük fekete színnel. Egyes esetekben szükség volt a háttért is kitölteni, természetesen ez fehér színnel történt. Végeredményképpen minden esetben fehér alapon fekete dendriteket kaptunk. A mérést automatizáltuk, és a különböző paraméterek meghatározását számítógépes programmal végeztük.

Orientációs faktor

Az orientációs faktor kiszámításának a képletéből adódik, hogy ez a paraméter nem alkalmazható körszimmetrikus alakzatok jellemzésére. A következő táblázatban az általunk kristályosított dendritek orientációs faktor értékeit vontuk össze.

1. táblázat. Az orientációs faktor értékei az általunk kristályosított dendriteken

A kristályosítás iránya és sebessége	Le s2	Le s4	Fel s2	Fel s4	Víz s2	Víz s4
Orientációs faktor	0,22	0,21	0,22	0,2	0,31	0,30

Az orientációs faktor utal az alakzat izotróp voltára, minél jobban közelít az értéke a nullához, annál izotrópabb az alakzat. Megfigyelhető, hogy mindkét sebesség esetén a vízszintes irányban kristályosított dendritek bírnak a legnagyobb irányítottsággal.

Saltykov-féle alaktényező és fajlagos felület

Az alaktényező értékei az általunk kristályosított dendriteknél azt mutatják, hogy a kristályosodási sebesség növekedésével egyre kerekkebbé, körszerűbbé válik az alakzat.

2. táblázat. Az általunk kristályosított dendritek Saltykov-féle alaktényezői

A kristályosítás iránya és sebessége	Le s2	Le s4	Fel s2	Fel s4	Víz s2	Víz s4
Saltykov-féle alaktényező	0,14	0,19	0,14	0,18	0,12	0,31

Az általunk kristályosított dendritek fajlagos felület értékei eléggé megbízhatatlanok voltak, elsősorban a képátalakításból adódó pontatlanságok miatt. A módszer ebben az alkalmazási esetben tökéletesítésre szorul.

Az alább látható táblázatok bemutatják, hogyan alakultak az alaktényező és a fajlagos felület értékei a hópehely és szimulált dendritek esetén.

3. táblázat. A hópehely dendritek Saltykov-féle alaktényezői és fajlagos felülete értékei

	h1. kép	h2. kép	h3. kép	h4. kép
Saltykov-féle alaktényező	0,13	0,19	0,32	0,44
Fajlagos felület	0,09	0,07	0,05	0,04

4. táblázat. A szimulált dendritek Saltykov-féle alaktényezői és fajlagos felülete értékei

	s1. kép	s2. kép	s3. kép	s4. kép
Saltykov-féle alaktényező	0,06	0,20	0,10	0,16
Fajlagos felület	0,22	0,05	0,12	0,08

Mint arról fentebb is szó volt, a Saltykov-féle alaktényező az alakzat körszerűségére utal, és kör esetén az értéke 1. Látható, hogy a h3 és h4 képeken szereplő dendrit (3. táblázat) közelít leginkább a körhöz, és ebben az esetben kaptuk a legnagyobb értékeket is a mérés során. A fajlagos felület számadatai is folyamatosan csökkenő tendenciát mutatnak a szerkezet durvulásával.

Az eredmények alátámasztják azt a tényt, hogy minél bonyolultabb, minél több szekunder, terciér ággal rendelkezik egy primer dendritág, annál nagyobb a dendrit fajlagos felülete. Amennyiben a szerkezet leegyszerűsödik, elveszti a finomságát, csökken a fajlagos felület értéke.

Összefoglalás

Az általunk kristályosított succinonitrile-aceton dendriteken bebizonyítottuk, hogy a dendrit alakja függ attól, hogy milyen szöget zár be a kristályosodás iránya a gravitációs vektor irányával, illetve hogy milyen sebességgel történik a kristályosítás. A gravitációs vektor hatására áramlás alakul ki a szilárd/olvadék határfelület előtt az olvadékban, és ez módosítja a keletkező dendritek alakját. Különféle alakjellemzők segítségével megmutattuk, hogy vízszintes irányú kristályosodás esetén

kapjuk a legdurvább, és legkevésbé izotróp dendriteket. A kristályosodási sebesség növekedésével is csökkennek a dendritek izotróp tulajdonságai.

A Saltykov-féle alakjellemző és a fajlagos felület mérésével különbséget tudtunk tenni a szimulációkkal előállított dendrites szerkezetek morfológiai jellemzői között. Hasonló eredményre jutottunk, mintegy osztályozni tudtuk a különböző mértékben dendrites szerkezettel rendelkező hópelyheket.

A felhasznált paraméterek minden kétséget kizáróan alkalmasak a dendrites struktúrák morfológiai jellemzésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Glicksman M. E.: Met. Trans. A, Vol. 7A, pp. 1747-1759, November, 1976.
- [2] Réger M.: Tranzien kristályosodási folyamatok kísérleti vizsgálata, Budapest, 1997.
- [3] Bodenschatz E., Ragnarsson R., Utter B.: Directional Solidification of Solvent/Polymer Alloys, <http://milou.msc.cornell.edu/solidification.html>, 1999.
- [4] Cs. Póliska, K. Tomolya, J. Kovács, Z. Gácsi, M. Réger: Effect of Direction of Solidification on the Dendritic Structure, Materials Science Forum Vols. 329-330, pp. 291-296, 2000.
- [5] Gácsi Z., Sárközi G., Réti T., Kovács J., Csepeli Zs., Mertinger V.: Sztereológia és Képelemzés, egyetemi tankönyv, pp. 42-53, 2001.
- [6] Saltykov S. A.: Stereometrische Metallographie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974.
- [7] Weiss A., Zimmermann G., Rex S.: Investigation on Morphological Instability during Directional Solidification on a Sounding Rocket, Third International Conference on Solidification and Gravity, Hungary, Miskolc-Lillafüred, pp. 98-99, 1999.
- [8] Andersson C: Phase-field Simulation of Dendritic Solidification. PhD thesis. Royal Institute of Technology. (2002) p. 51. <http://www.nada.kth.se/~chrste/research/index.html>
- [9] <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/>
- [10] Gácsi Zoltán: Az anyagok szövetszerkezetének morfológiai anizotrópiája és rendezettsége, DSC értekezés, pp. 21-24, 2003.

Póliska Csaba, doktorandusz hallgató

H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Anyagtudományi Intézet, Fémteni Tanszék

Tel:+3646-565111-2302

Fax:+3646-565201

E-mail: policsabi@yahoo.com