FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

AZ OLVADÉK ÁRAMLÁS HATÁSA A DENDRIT ALAKJÁRA

Póliska Csaba, Gácsai Zoltán

The aims of our research are the characterization of the dendritic structure which forms during the solidification. We search parameters which help can be described the shape of the dendrite with. First measuring was made in test formation. The test formation models the secondary dendrite arm's coarsening of the dendritic structure which forms during the solidification. Then we measured on the real images. The characteristic parameters are: specific surface, orientation factor, Saltykov-shapefactor. Furthermore we drawn orientation rose diagram.

A vizsgálataink célja, hogy a kristályosodás során kialakuló dendrites szerkezetet jellemezzük. Olyan paramétereket keresünk, melyek segítségével a dendrit alakja leírható. Méréseinket először tesztalakzatokon végeztük el. A tesztalakzatok a dendrites kristályosodás során kialakuló szekunder dendritágak durvulását modellezik. Ezután következik a valós képeken történő mérés. A jellemző paraméterek a következők voltak: fajlagos felület, orientációs faktor, Saltykov féle alak tényező. Ezen kívül orientációs rózsadiagramot szerkesztettünk.

Bevezetés

Eddigi munkánk során a dendrites kristályosodás geometriai paramétereinek a mérésével foglalkoztunk [7, 2]. Mivel a fémek, fémötvözetek nagy része dendritesen szilárdul meg, és a kialakuló dendrites szerkezet orientációja, valamint a dendrit alakja, mérete jelentős hatással van az anyagok felhasználás szempontjából lényeges tulajdonságaira, ezért nagyon fontos dolog ismerni a szerkezet jellemzőit. Vizsgálatainkban „*in situ*” módon tanulmányoztuk az olvadátk mozgás hatását a dendrites kristályosodás nyomán kialakuló szövetszerkezetre.

A dendrites kristályosodás lefolyását és a kialakult szerkezetet elsősorban a dendritesúcs előtt - és részben a dendritek között - kialakuló koncentrációkülönbség irányítja. Amilyen mértékben csökken az ötvözőfém koncentrációja a dendritesúcs előtt - diffúzióval esetleg áramlással - olyan mértékben

képes a kristályosodás folytatódni. A kristályosodás során az olvadékban szükségképpen kialakuló koncentráció és hőmérsékletkülönbség sűrűségkülönbséget okoz, amely gravitációs térben áramláshoz vezet.

A kísérletekhez általunk használt modellanyag *borostyánkősav-dinitril (succinonitrile, SCN)* volt, amely alkalmazhatóságát tekintve számos - a kristályosítás szempontjából - előnyös tulajdonsággal rendelkezik. A kristályosításhoz általunk használt berendezést Réger [3] valósította meg.

Annak érdekében, hogy az olvadékmozgás dendrites kristályosodásra kifejtett hatását tanulmányozni tudjuk, változtattuk a szilárd/olvadék határfelület gravitációs vektorhoz viszonyított mozgási irányát. Pontosabban, a szilárd/olvadék határfelület előtt, az olvadékban, a hőmérséklet és a koncentrációkülönbség miatt kialakuló sűrűség-gradiens irányát módosítottuk a gravitációs vektorhoz képest. Éppen ezért, az üveg mintatartót, s vele a szilárd/olvadék front mozgási irányát három különböző módon állítottuk be:

- 1) A szilárd-olvadék front vízszintesen mozgott,
- 2) A szilárd-olvadék front fentről lefelé mozgott,
- 3) A szilárd-olvadék front lentől felfelé mozgott.

Mint ahogy, korábbi munkáinkban már beszámoltunk róla, a három különböző irányban kristályosított *borostyánkősav-dinitril* dendritek geometriai adataiban különbséget találtunk. Az elemzések során a *primer dendritág távolságot* (λ_j) és a *dendritcsúcs sugarát* (r_j) határoztuk meg. Eredményként azt kaptuk, hogy a vízszintes kristályosításnál a sűrűségkülönbség indukálta áramlás hiánya miatt viszonylag nagy primer dendritág-távolság, s dendritcsúcs-sugár alakult ki. Amikor a kristályosodási front mozgása a gravitációs vektorral megegyező, vagyis a dendritcsúcs-sugár előtti olvadék a gravitáció hatására áramolni képes, kisebb primer dendritág-távolság mérhető. Mindezek mellett a lentől felfelé, illetve fentről lefelé mozgó kristályosodási front által produkált primer dendritág-távolság között már kisebb különbség adódott.

Tesztalakzatok

A dendrit alakjának a jellemzéséhez, a megfelelő paraméterek megtalálásához tesztalakzatokon végeztünk méréseket. A tesztalakzataink egy sorozatot képeztek, amelyeken a dendritek magassága állandó volt, egyedül a szekunder dendritágak száma változott. Az első képen még 11 ág szerepelt, de a kilencediken már csak 3, vagyis képről-képre eggyel csökkent a szekunder dendritágak száma. Ez gyakorlatilag a szemcsedurvulást szimbolizálja, hiszen a szekunder dendritágak számának a csökkenésével a szélességük növekszik, az ágak egyre „kövérebbek” lesznek, vagyis durvulnak. A képsorozat egyes tagjait mutatja be az **1. ábra**.

1. ábra. A tesztképek

Alakjellemezés

A dendrit alakját, anizotrópiáját többféleképpen lehet jellemezni. A jellemzéshez természetesen meg kell mérni különböző paramétereket az adott alakzaton. A mérés során képelemző berendezés segítségével az orientációs tengellyel párhuzamosan vonalhálót fektettünk az egyes tesztképekre és megszámoltuk a vonalak és a tesztképen szereplő dendrit metszéspontjait - $(P_L)_p$ -, másrészt erre a vonalra merőlegesen is elvégeztük a mérést - $(P_L)_m$. Ezen kívül megmértük a tesztalakzatok területét (K) és területét (T) is.

A kapott adatok feldolgozása különböző módokon történt. A $(P_L)_p$, $(P_L)_m$, adatok felhasználásával vagy az *orientációs rózsza diagramot* rajzolhatjuk meg (ábrázolva a metszésszámokat az elforgatási szög függvényében), vagy számszerűen érzékeltethetjük az anizotrópiát. Az általunk mért szerkezetek -a méréseket síkban végezzük, nem pedig térben - részlegesen orientált vonalrendszereknek is tekinthetők. A részlegesen orientált vonalrendszerek *rózsza diagramja* egymással szemben lévő körökből épül fel, amihez a koordinátarendszer középpontjában lévő kör is hozzátartozik. A létrejött diagram a vonalrendszer irányítottságára jellemző, elkülönítve mutatja egyrészt az orientált-, másrészt az izometrikus vonalak elhelyezkedését.

2. ábra. Az orientációs rózsza diagram

A 2. ábra diagramja mutatja a tesztalakzatokon történt mérések eredményeit. A rózsza diagramon megfigyelhető, hogy a szekunder dendritágak számának a csökkenésével csökken a metszésszám is. A tesztalakzatokra szinte mindvégig a függőleges irányú orientáció a jellemző, de az utolsó tesztalakzat - melyen már csak 3 szekunder dendritág van - rózsza diagramján fent és lent is megjelenik egy-egy kis kör, ami azt mutatja, hogy ez az alakzat nem annyira anizotróp, mint az előzőek. Megállapítható, hogy a szekunder dendritágak számának a csökkenésével csökken a dendrit anizotrópiájának a mértéke is.

A gyakorlatban sokkal egyszerűbben is lehet jellemezni az orientációt, nevezetesen az *orientációs fok* megadásával. Ha a tesztalakzatokat síkon részlegesen orientált vonalrendszereknek tekintem, akkor abban az esetben, ha még nincsenek szekunder dendritágak, az alakzat közel horizontális irányú vonalszakaszokból összerakható. Amint megjelennek a szekunder dendritágak, ez a rendszer felbomlik, és a szekunder ágak, mivel közel vertikális irányú vonalszakaszoknak tekinthetők, az addigi horizontális irányú orientációt lassan vertikális irányba fordítják. Az alábbi egyenlet segítségével az orientáció mértéke könnyen meghatározható.

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

A dendrites szerkezetet tekinthetjük részlegesen orientált felületrendszernek is. A részlegesen orientált felületrendszerek jellemzésére ma is a Saltykov [4] által javasolt rendszert használjuk. Az izometrikus felületrendszerek között három típust különböztetünk meg: lineáris, sík és sík - lineáris

orientációval rendelkező felületrendszereket. Levezetések után megkapjuk, hogy az orientációs faktor az alábbi egyenlet segítségével számolható.

$$\Omega_{sik}=\frac{(P_L)_m-(P_L)_p}{(P_L)_m+(P_L)_p}\tag{2}$$

Mint a következő ábrán látjuk, az orientációs faktor itt bemutatott kétféle számítási módja nagyon hasonló eredményt szolgáltat (Az D1...D9 jelölésnek az 1...9 számok felelnek meg!).

3. ábra. Az orientációs faktor változása

Az orientációs faktor értékeinek a változása meglehetősen egyértelmű. A szekunder dendritágak számának a csökkenésével - vagyis a durvulási folyamattal párhuzamosan - mind jobban csökken a tesztalakzat anizotrópiája.

További jellemzésként kiszámolhatjuk az alakzatok (ebben az esetben dendritek) *fajlagos felületét*, ami a tesztkép bonyolultságától függően szintén eltérő értékeket mutat. A *fajlagos felület* kiszámolásának képlete nagyon egyszerű, csak az alakzat - dendrit - területére és kerületére van szükség.

$$S_v=\frac{K}{T}\frac{4}{\pi}\tag{3}$$

A fajlagos felület nagysága is meglehetősen egyértelműen változik. A szekunder dendritágak durvulásával egyre kisebb lesz a dendrit fajlagos felülete.

Összefoglalás

Az izotróp szemcse rózsa diagramja egy körből áll. Ha az alakzat anizotróp, ez a kör több körre bomlik fel. Amikor az orientáció iránya horizontális - ez a cella hosszmetszete esete -, a rózsa diagram két, egymás felett elhelyezkedő körből áll. A szekunder dendritágak számának a csökkenésével - vagyis a durvulási folyamat erősödésével - csökken a metszésszám is. A tesztalakzatokra szinte mindvégig a függőleges irányú orientáció a jellemző, de az utolsó tesztalakzat - melyen már csak 3 szekunder dendritág van - rózsa diagramján fent és lent is megjelenik egy-egy kis kör, ami azt mutatja, hogy ez az alakzat horizontális és vertikális irányban közel azonos irányítottsággal bír. Megállapítható, hogy a szekunder dendritágak számának a csökkenésével, csökken a dendrit anizotrópiájának a mértéke is.

A tesztalakzat sorozat orientációs faktor értékeinek a változása meglehetősen egyértelmű. A durvulási folyamat erősödésével mind jobban csökken a tesztalakzat anizotrópiája. A kétféle módon számított anizotrópia, mindkét sorozat esetén hasonló értéket mutat. A szekunder dendritágak kialakulásával és növekedésével folyamatosan növekszik a fajlagos felület értéke is. A szekunder dendritágak durvulásával pedig egyre kisebb lesz a dendrit fajlagos felülete.

Irodalomjegyzék

- [1] 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.
- [2] Cs. Póliska, J. Kovács, Z. Gácsi: Characterization of the Dendritic Structure, KEPAF Conference on Image Analysis and Pattern Recognition, Noszvaj, Hungary, pp. 163-168, 2000.
- [3] Réger M.: Kristályosodási tranziens folyamatok vizsgálata, I. Berendezés modellanyag irányított kristályosítására, Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat, Vol. 128, 6, Budapest, Hungary, pp. 231-236, 1995.
- [4] Saltykov S. A.: Stereometrische Metallographie, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1974.

Póliska Csaba, doktorandusz hallgató

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

Tel:+3646-565111-2302

Fax:+3646-565201

E-mail: policsabi@yahoo.com