



**The Publications of the XXVI. microCAD
International Scientific Conference**

ISBN: 978-963-661-773-8

University of Miskolc, Hungary
29-30 March 2012



ITTC
Innovation and Technology Transfer Centre
University of Miskolc

**A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági központok fejlesztésére
alapozva a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területein
(TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001)**

ÚJ SZÉCHENYI TERV

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.uszechenyiterv.gov.hu
06 40 430 430



A projektek az Európai Unió
támogatásával valósulnak meg.



„A felsőoktatás minőségének javítása kiválósági
központok fejlesztésére alapozva a Miskolci Egyetem
stratégiai kutatási területein”
TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001



*"A konferencia a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai
Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"*



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai
Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



MAGYARORSZAG MEGÚJUL

ME.Tu-139/2012.



Innovation and Technology Transfer Centre
University of Miskolc

XXVI. microCAD International Scientific Conference 29-30 March 2012



PROGRAMME

APPLIED MATERIALS SCIENCE AND NANOTECHNOLOGY SYMPOSIUM

Chairman: András ROÓSZ professor

D: APPLIED MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGIES

VENUE: Káldor Mihály Room, Bld. B/1. groundfloor

Chairman: Kálmán MAROSSY professor

Secretary: Gabriella ZSOLDOS research fellow

Date: March 30, 2012

- 9.00 Tamás Szívós, Tamás Szabó University of Miskolc, Hungary
Evaluation of Necessity of Biodegradable Polypropylene Products and Determination of Baseline Values
- 9.20 Alexandru Savici¹, Iosif Malaescu², Adrian Cotoraci¹ "Vasile Goldis" West University¹, West University of Timisoara², Romania
Low Frequency Behavior of Magnetic Fluids in Thermal Gradient
- 9.40 Stefan Rung, Hellmann Ralf Aschaffenburg University of Applied Science, Germany
Laser Scribing of Metallized Transparent Conductive Oxide – A Comparative Study Using Top-Hat and Gaussian Beam Profiles -
- 10.00 Georg Koller, Steffen Hessler, Manuel Rosenberger, Stefan Belle, Ralf Hellmann Aschaffenburg University of Applied Science, Germany
Optical Waveguide Fabrication in PMMA Using Low Frequency Reactive Ion Etching
- 10.20 Break
- 10.40 Maiko Girschikofsky, Manuel Rosenberger, Stefan Belle, Ralf Hellmann Aschaffenburg University of Applied Science, Germany
Surface Modification of Planar Bragg Grating Refractive Index Sensors for Gas Detection
- 11.00 Andrea Simon, Zoltán Gácsi University of Miskolc, Hungary
Investigation the Hardness and Wear Properties of Al-SiC_p Composites
- 11.20 István Kocserha, Bálint Györffy, Gábor Menyhért, Dávid Szunyog University of Miskolc, Hungary
Effects of Additives on the Properties of Fired Clay Products
- 11.40 Mariann Kollár University of Miskolc, Hungary
Thermomechanical Properties of Heterogeneous Polymer Blends. Examination of the Glass Transition Temperature in the Immiscible Polymer Blends
- 12.00 Gabriella Zsoldos, Judit Oláh University of Miskolc, Hungary
Evaluation of Aging of UHMWPE Acetabular Cups using DSC Methods
- 12.20 Summary

APPLIED MATERIALS SCIENCE AND NANOTECHNOLOGY SYMPOSIUM

Chairman: András ROÓSZ professor

D: APPLIED MATERIALS SCIENCE AND TECHNOLOGIES

VENUE: Káldor Mihály Room, Bld. B/1. groundfloor

Chairman: Péter BARKÓCZY assoc. professor

Secretary: Tamás MIKÓ PhD Student

Date: March 30, 2012

- 14.00 Szilvia Gyöngyösi, Péter Barkóczy, Adrienn Hlavács University of Miskolc, Hungary
Scaling of a One-Dimensional Cellular Automaton
- 14.20 Ionut Claudiu Roata, Radu Iovanas, Daniela Maria Iovanas Transilvania University of Brasov, Romania
Determination of Electric Loads Influence on the Layers that Are Sprayed with Flame and Powder Using the Finite Element Analysis
- 14.40 Dániel Molnár, Imre Budavári University of Miskolc, Hungary
Computer Simulation of a High Pressure Die Automotive Casting Part
- 15.00 Csaba Nagy, András Roósz, Arnold Rónaföldi, László Gyulai University of Miskolc, Hungary
Numerical Simulation of the Stirring of Melts by Magnetic Field
- 15.20 Zsolt Dugár¹, Bata Attila¹, Barkóczy Péter² College of Kecskemét¹, University of Miskolc², Hungary
Examination of Recrystallization of Aluminum Alloys by DMTA Technique
- 15.40 Gergely Körösy, Tamás Mende, András Roósz University of Miskolc, Hungary
Estimation of the Al-Rich Corner of the Al-Fe-Si Alloy System by Esphad Method
- 16.00 Break
- 16.20 Melinda Godzsák¹, Jenő Sólyom¹, Árpád Kovács¹, Péter Pekker², Zoltán Gácsi¹ University of Miskolc¹, Bay Zoltán Applied Research Nonprofit Ltd.², Hungary
Examination of Precipitation Hardening of AlSi10MgCu0.5 Alloyed Automotive Castings
- 16.40 Dániel Koncz-Horváth, Zoltán Gácsi University of Miskolc, Hungary
Investigation of a 6-Part Lead-Free Solder Alloy
- 17.00 Ádám Radányi, Alíz Molnár, Anna Sycheva University of Miskolc, Hungary
Growth of Tin Whisker in Pb-Free Solder Technology
- 17.20 László Nyekse University of Miskolc, Hungary
Microstructure Evolution Behaviour of High Pressure Die Casting Alloy (Din 226) during Semi-Solid Rheocasting
- 17.40 Attila Polyák, Valéria Mertinger, Péter Barkóczy University of Miskolc, Hungary
Effects of Rolling Temperature in Thermomechanical Rolling of Aluminium Wire
- 18.00 Summary

MÁGNESES FÉMOLVADÉK-KEVERÉS NUMERIKUS SZIMULÁCIÓJA

Nagy Csaba¹, Roósz András², Rónaföldi Arnold³, Gyulai László⁴

¹MSc hallgató, ²egyetemi tanár, ³tudományos főmunkatárs, ⁴egyetemi adjunktus

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Anyagtudományi Kar

^{2,3}MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport

³Miskolci Egyetem, Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszék

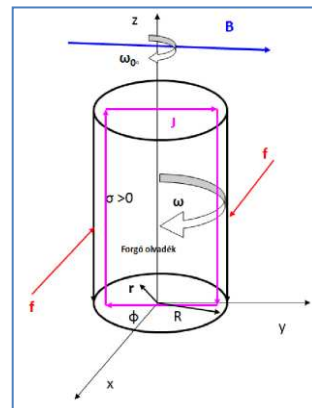
1. BEVEZETÉS

Az olvadt fémek kristályosodás közben történő áramlása jelentős hatással van a kialakuló mikroszerkezetre (pl. acél vagy alumínium ötvözetek folyamatos öntése). A kristályosítóból kikerült buga fala már ugyan megszilárdult, de belsejében még olvadék állapotú a fém, ami számos okból komplex módon áramlik. Ezen áramlások megértése céljából készítette el az MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport magneto-hidrodinamikai (MHD) keverővel ellátott kristályosító berendezését, amellyel forgó mágneses tér segítségével kevernek fémolvadékokat az összetett áramlások megértése céljából. D. BRITO és mts. [3], J. STILLER és mts. [4], P. Nikrityuk és mts. [5], J.K. Ropelkar és mts. [6], valamint E. Dahlberg [7] is foglalkozott mágneses keverés hatásainak vizsgálatával és azok modellezésével.



1a. ábra

A kristályosító berendezés



1b. ábra

A kialakuló erőrendszer

A berendezés működése a Maxwell-egyenleteken alapszik. Ha a fémolvadékokat a forgó mágneses térbe helyezik, abban a tér hatására örvényáram keletkezik. Lenz törvénye által megfogalmazott okok alapján az olvadékban létrejövő örvényáram hatása az őt gerjesztő teret gátolni igyekszik, így a fémolvadék forogni kezd. Az áramlást a fémolvadékokra ható Lorenz-erő (f) hozza létre. A forgásba hozott olvadékokat áramlás közben lehűtik és így kapják a kész darabot.

A munka során az ANSYS FLUENT 13.0 CFD szimulációs program segítségével modelleztük gallium olvadék áramlását a Lorenz-erőtér előírásának segítségével, mert mérési adatok gallium-olvadék áramlásáról álltak rendelkezésre [1]. Különös tekintettel kívánjuk közelíteni a korábban mért egyensúlyi átlag szögsebességet és a szabad felszín középpontjának süllyedését [1].

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

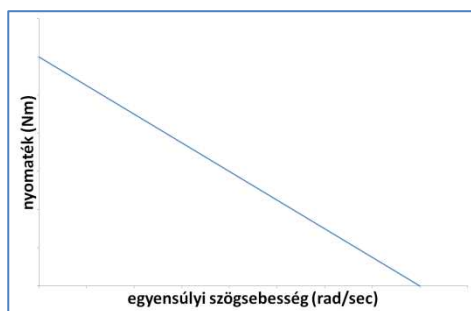
Forgó olvadék henger esetén az olvadékot hajtó Lorenz-erő egyenlete a következőképpen alakul:

$$f = \frac{1}{2} \sigma B^2 r (\omega_0 - \omega) \quad (1)$$

Ahol:

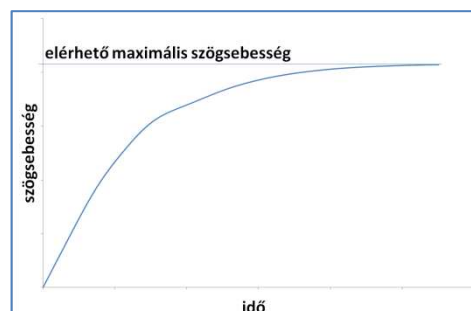
- σ az olvadék villamos vezetőképessége, S/m
- B a mágneses indukció, T
- r az aktuális sugár, m
- ω_0 az MHD keverő szinkron-szögsebessége, rad/sec
- ω az olvadék szögsebessége. rad/sec

Az erőter hatására az olvadék – a mágneses tér gerjesztésétől függő – egyensúlyi szögsebességű forgásba jön. Az egyensúlyi állapot oka, hogy az olvadékot saját viszkozitása és a mintatartó fala nagyban lassítja, így nem tudja az induktor szinkronfordulatát elérni. A hajtónyomaték és a szögsebesség kapcsolata valamint egy elméleti felfutási görbe (szögsebesség növekedése az idő függvényében) az alábbi diagramokon láthatóak (2a. és 2b. ábra).



2a. ábra

A hajtónyomaték – szögsebesség kapcsolata



2b. ábra

Egy ideális felfutási görbe

Kísérletileg és szimulációinkkal is bizonyított, hogy a gerjesztés és az egyensúlyi fordulatszám között lineáris kapcsolat található, tehát a gerjesztés növekedésével arányosan nő az olvadék maximálisan elérhető szögsebessége is.

3. MODELL BEÁLLÍTÁSAI

A megfelelő modell elkészítéséhez elegendő csak a mintatartót figyelembe venni, mivel mind áramlástani, mind kristályosodási szempontból lényegtelen mi keveri az olvadékot, így szükségtelen az egész gépet megrajzolni. A FLUENT kétdimenziós "axisymmetric swirl" megoldó modulját alkalmaztuk. Ennek segítségével forgó rendszerekben lezajló folyamatok modellezhetőek. Így a hengeres alakú mintatartó a szimulációs térben leegyszerűsödik egyetlen téglalapra – a henger függőleges metszetének felére. A megoldó a megfelelő peremfeltételek megadása esetén képes

a rotáló rendszereket kezelni 2D alapon. A FLUENT 13.0 Volume Of Fluid (VOF) többfázisú modelljét, valamint Realizable $k - \epsilon$ turbulencia modelljét (Enhanced Wall Treatment fal közeli funkcióval) alkalmaztuk a mérésel összehasonlítható eredmény érdekében [2].

Korábbi mérésekből kiindulva 10 mm átmérőjű mintatartóban 60 mm magas gallium-olvadékoszlopot helyeztünk el. Sűrűsége 6350 kg/m^3 , dinamikai viszkozitása $0,003 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ értékű. A hálózást hexa elemekkel történt – 45000 cellával felosztva a teret 10 mm-es átmérő esetén. Megadtuk a forgástengely és a falak helyét, valamint a mintatartó tetején – a környezettel való kapcsolat érdekében – egy zérusértékű nyomás bemenet is elő lett írva.

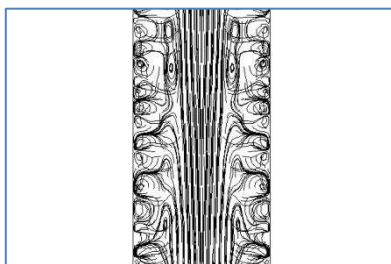
Az olvadékot meghajtó erőter megadására alaphelyzetben nincs lehetőség, mivel ez térben és időben is változik. Az (1) egyenlet alapján, nagyobb sugár esetén arányosan nagyobb erő ébred, továbbá ha az olvadék gyorsul, nő szögsebessége (Lenz-törvénye), és ezzel gyengíti a hajtó erőteret. Eszerint az olvadékoszlop tengelyétől kifelé haladva egyre nagyobb erőnek kell ébrednie, míg az idő előrehaladtával (az említett olvadék egyre növekvő forgása miatt) egyre kisebbnek. A fémbe ébredő erő leírását UDF (User Defined Function) segítségével oldottuk meg. Jelen esetben egy C programnyelven írott forráskód segítségével meg lett adva az (1) egyenletet. A FLUENT celláról cellára koordináta és sebesség függően számolja az adott pontban ébredő erő nagyságát. Külön figyelmet kellett fordítani a többfázisú megoldó modul miatt arra, hogy az erőter csak az olvadékra hasson, ahogy ez a valóságban is történik.

4. EREDMÉNYEK

Mint láhattuk a 2b. ábrán, a kialakuló egyensúlyi szögsebesség értéke hozzásimul egy elméleti maximumhoz. Ezen érték esetén válik egyenlővé az induktor által gerjesztett hajtónyomaték és az áramlástani veszteségekből származó súrlódási nyomaték [1]. Szimulációim során két jelenséget találtam.

4.1. Felfutási görbe maximuma

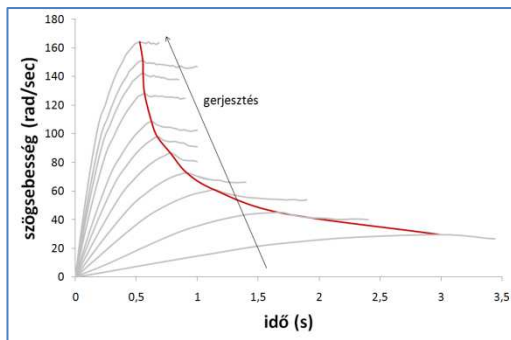
Az egyensúlyi szögsebesség elérése előtt az olvadék túllendül – jelentkezik egy maximum pont a felfutási görbén. Ennek oka a folyadéktérfogatban jelentkező turbulenciák kései kialakulása. A fal mentén jelentős mértékű örvény keletkezik, melyek nagyban befolyásolják az átlagos szögsebesség értékét (3. ábra).



3. ábra

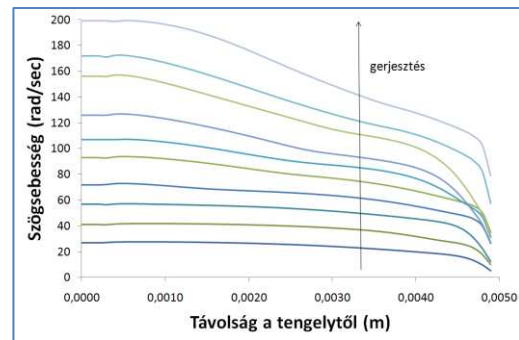
Áramlási nyomvonalak az olvadék térfogatában kialakuló szekunder áramlásokról
57,4 mT gerjesztés, 100 rad/s szögsebesség

Mint a 3. ábrán látható a turbulencia jelentős térfogatarányt foglal el. 10 mm-es átmérő esetén átlagosan a térfogat 92%-a turbulens áramlást mutat és csak a maradék 8%-ban lamináris az áramlás. Ennek következtében a szögsebesség a tengelytől a fal felé haladva csökken. Ezen hatás a gerjesztés és így az egyensúlyi szögsebesség növekedésével nagyobb mértékben jelentkezik. A 4a. ábra a 10 mm átmérőjű mintatartóban modellezett esetek felfutását és az áramlás beálltának eltolódását, míg a 4b. ábra az egyensúlyi szögsebesség sugár menti alakulását mutatja különböző gerjesztések esetén.



4a. ábra

Felfutási görbék és az egyensúlyi áramlás kialakulásának időbeli eltolódása



4b. ábra

Szögsebesség a sugár mentén

A 4a. ábrán látható, hogy az indukció növelésével az áramlás beállási ideje jelentősen csökken. Felfedezhető a Lorenz-erő egyenletében (1) jelen lévő négyzetes összefüggés a „B” gerjesztéssel.

4.2. A szabad felszín

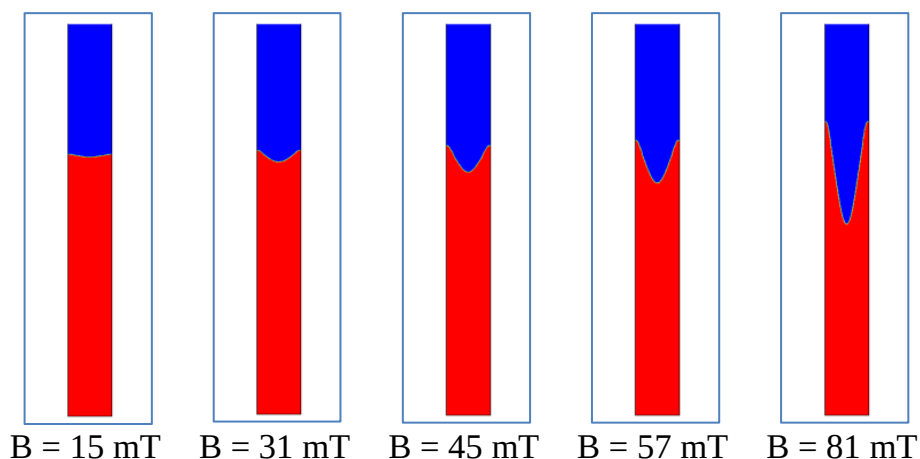
Forgásba hozott folyadékokról (örvényekről) ismert, hogy a szabad felszín egy paraboloid. Tisztán paraboloid csak olyan esetben alakul ki, amikor a folyadékban a nyírás mértéke csekély, valamint a falsúrlódás elhanyagolható. Esetünkben a falsúrlódás mértéke jelentős. (3. ábra → turbulenciák). Mivel a fal mentén a szögsebesség tart a nulla felé, esetünkben potenciális örvényről kell beszélni. A fal menti visszahúzódnak is éppen ezen lassulás miatt jelentkezik (nincs elég mozgási energia ahhoz, hogy az olvadék magasabbra emelkedjen a mintatartó falán).

A 6. ábra szemlélteti gallium olvadék kevert állapotát. A 7. ábrasorozaton a szimulációval létrehozott olvadékoszlop, 8. ábrán egyes határfelületek láthatóak.



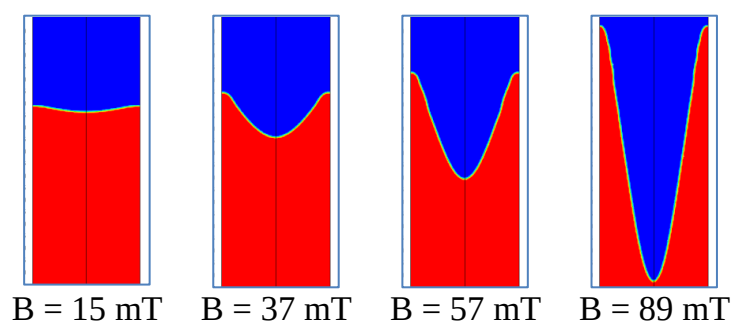
6. ábra

Gallium olvadék áramlása keverés esetén



7. ábra

Az olvadákoszlop (piros fázis) keresztmetszete egyensúlyi áramlás során

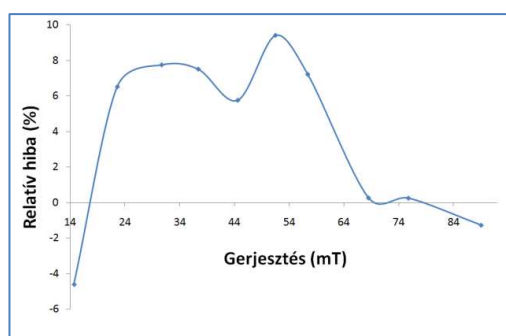


8. ábra

A határfelület kinagyítva egyes gerjesztések esetén

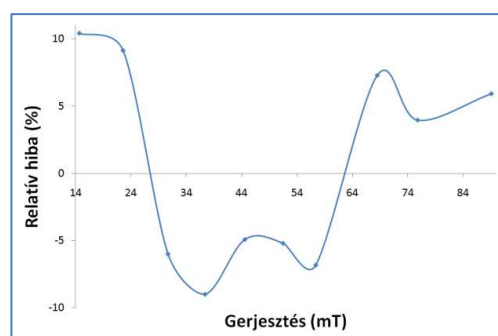
4.3. Validáció

A bemutatott kutatás eredményeit korábbi méréseinkkel validáljuk. A szögsebesség átlagos relatív hibája 5,06%, míg a szabad felszín süllyedését tekintve ez 6,86%-nak adódott. Az egyes gerjesztések esetén adódott hibaértékek a 8a. és 8b. ábrákon láthatóak.



8a. ábra

A szimulációval kapott egyensúlyi szögsebességek relatív hibája a gerjesztés függvényében



8b. ábra

A szimulációval kapott felszínsüllyedések relatív hibája a gerjesztés függvényében

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásom során számos eddig nem tapasztalt jelenséget ismerhettünk meg, mely az olvadt fémekben lezajlik a keverés során. A szekunder áramlásokat vizualizálni valós esetben nincs lehetőség, így jelentős előrelépést mutathat a felépített modell. Kristályosodási szempontból nagy befolyása lehet a turbulencia által okozott szögsebesség csökkenésnek is. További munkánk során más színfém- és ötvözetolvadékok áramlási tulajdonságait és a kristályosodási front makroszkopikus haladását is szeretnénk vizsgálni.

6. Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként valósult meg.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] RÓNAFÖLDI, A.: **Forgó mágneses mezős magneto-hidrodinamikai keverővel ellátott kristályosító berendezés kifejlesztése és vizsgálata.** PhD értekezés. Miskolc. (2008)
- [2] ANSYS FLUENT 13.0 User's Guide
- [3] D. BRITO, P. CARDIN, H.-C. NATAF, G. MAROLLEAU: **Experimental study of a geostrophic vortex of gallium in a transverse magnetic field.** Physics of the Earth and Planetary Interiors. 91 (1995) 77-98
- [4] J. STILLER, A. CRAMER, K. FRANA, K. VARSHNEY: **Stirring with rotating magnetic fields. Numerical and experimental results.** Flow control by Tailored Magnetic Fields. Dresden. (April 1-2, 2004)
- [5] P. Nikrityuk, K. Eckert, B. Willers, S. Eckert, U. Michel, G. Zouhar: **Numerical and experimental studies on solidification control by alternating magnetic fields.** Sino-German Workshop on Electromagnetic Processing of Materials. Shanghai, China. (October 11-12, 2004)
- [6] J.K. Ropelkar, J.A. Dantzig: **A study of Solidification with a Rotating Magnetic Field.** Int. J. Cast Metals Research. 14 (2001) 79-98
- [7] E. Dahlberg: **On the action of a rotating magnetic field on a conducting liquid.** AB Atomenerg. Sweden. Rep AE-447 (1972)