Raport stiintific

privind implementarea proiectului in perioada ianuarie – decembrie 2014

Activitatea 1.5 Compararea simularilor numerice cu rezultatele experimentale obtinute in experimentul model

Geometria folosită în modelarea numerică constă într-un creuzet rectangular de 7x7x5 cm³ mărime. Creuzetul este umplut aliaj eutectic de GaInSn. Acest aliaj, datorită unei temperaturi joase de topire (~11°C) este lichid la temperatura camerei și este de obicei folosit ca model în experimente cu fluide. Proprietățile de material folosite în modelarea numerică sunt listate în Tabelul 1:

Proprietăți fizice	Valoare	Unitate de măsură
Densitatea, ρ	6360	Kg/m ³
Vâscozitate dinamică	$2.16 \cdot 10^{-3}$	$N \cdot s/m^2$
Conductivitate electrică	$3.2 \cdot 10^{6}$	S/m

Un curent electric este injectat în topitură prin intermediul a doi electrozi plasați de-a lungul diagonalei simetric față de punctul central, la 1/3 și 2/3 din lungimea diagonalei din colțul stânga jos, după cum se poate observa și în Figura 1.



Figura 1. Reprezentarea schematică a modelului numeric

Această configurație este plasată într-un câmp magnetic vertical. Combinația dintre curentul electric și câmpul magnetic vertical generează o forță Lorentz care adaugă o componentă rotațională convecției fluidului.

Pentru a studia influența pe care câmpul electromagnetic o are asupra convecției topiturii pentru fiecare valoare a câmpului magnetic (B = 5, 10, 20, 30 mT) în modelările numerice efectuate s-a luat în considerare un interval pentru intensitățile curentului electric (I = 0.1, 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 A). Pentru a obține o soluție realistă 500 s în timp real au fost simulate cu un pas de timp de 0.1 s pentru fiecare

combinație de *I* și *B*. Pe ultimele 300 s s-a calculat o medie temporală (pentru a compara profilele vitezelor cu cele măsurate experimental). Simulările dependente de timp au fost realizate pe supercomputerul BlueGene/P de la Centrul de Calcul de Înaltă Performanță (High Performance Computer Center) al Universității de Vest din Timișoara folosind o versiune paralelizată a STHAMAS3D.

Modelul experimental

Pentru a valida rezultatele numerice, un model experimental a fost creat. Un creuzet dreptunghiular din sticlă de 7x7x7 cm³, care conține o topitură eutectică de GaInSn este plasat în interiorul unui electromagnet. Electromagnetul pe curent continuu în formă de C a fost construit pentru a obține un câmp magnetic staționar și cvasiuniform în zona interioară. Ca și în simulările numerice, volumul total al topiturii este 7x7x5 cm³, cu suprafața topiturii descoperită. Doi electrozi, fixați în capacul ce acoperă creuzetul, ating suprafața liberă a topiturii de GaInSn. Aceștia sunt plasați de-a lungul diagonalei simetric față de centru la 1/3 și 2/3 din lungimea diagonalei (Figura 2). Pentru a minimiza efectele asupra câmpurilor termice și de viteză la suprafața liberă, 2 electrozi cu vârf semisferic introduși în topitură imediat sub partea cilindrică (semisfera are 2 mm rază) au fost folosiți în acest studiu. Un curent electric continuu trece prin electrozi în topitură, care generează un efect de amestecare electromagnetică în conjunctură cu câmpul magnetic aplicat.



Figura 2. Montajul experimental al electromagnetului în formă de C în deschderea căruia este plasat creuzetul; traductorii ultrasonici conectați la Velocimetrul DOP3010 sunt fixați perpendicular pe peretele creuzetului

Câmpul magnetic auto-indus de un electrod semisferic pentru cea mai mare valoare a curentului electric folosit în experiment, 5 A, și o raza a semisferei de aproximativ 2 mm, este [1]:

$$B_{\text{self}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} = 0.5 \text{ mT}$$

Această valoare poate fi considerată neglijabilă în comparație cu câmpul magnetic considerat în acest studiu, care variază între 5 și 30 mT. Astfel, efectul acestui câmp magnetic nu a fost luată în considerare în modelările numerice.

Pentru a măsura profilele de viteză, metoda de velocimetrie Doppler cu ultrasunete a fost folosită, realizată cu aparatul comercial DOP3010 de la Signal Processing S.A., care a fost folosit cu succes în măsurători de curgeri în metale lichide [2]. Metoda de velocimetrie Doppler cu ultrasunete folosită de DOP3010 este bazată pe tehnologia puls-ecou, ceea ce permite vizualizarea profilelor de viteză de-a lungul direcției de propagare a undelor ultrasonice în interiorul lichidului care curge prin autocorelarea diferitelor ecouri ultrasonice recepționate după emiterea unor serii de pulsuri repetitive. Semnalul ultrasonic vine de la particule suspendate în lichid care sunt în calea razei ultrasonice. În cazul GaInSn, particulele de oxid de galiu depuse pe suprafața liberă sunt sursa ultrasunetelor reflectate. O îmbunătățire a semnalului ultrasonic a fost obținută prin amestecarea oxidului de galiu în topitură la înainte de începerea experimentului. Viteza a fost mediată peste o perioadă de 1200 s în timpul măsurătorilor experimentale.

S-au folosit 3 traductori ultrasonici de 4 MHz. Traductorii au fost pozitionati perpendicular pe peretele exterior al creuzetului pe suport (vezi Figura 2). Cuplajul ultrasonic între senzori și peretele de sticlă a fost realizat prin folosirea unui gel ultrasonic standard. Acești senzori au fost plasați în trei poziții (stânga, mijloc, dreapta) de-a lungul unei linii orizontale. Traductorii, care sunt perpendiculari pe peretele creuzetului, măsoară componenta vitezei perpendiculară pe perete, care, prin convenție este negativă dacă fluxul este orientat către traductor și pozitivă dacă este orientat în sens invers. Un volum de măsurare este definit lateral de divergența undei ultrasonice și axial de lățimea de undă de etalonare, care trebuie să corespundă la o lungime mai mare decât pulsul emis. Pentru aceste măsurători, dimensiunea axială a volumului de etalonare este 2.184 mm. Rezolutia dintre două puncte este dată de distanta dintre centrele a două volume consecutive de măsurare. Volumele de măsurare se suprapun, deoarece distanța dintre centrele a două volume este de aproximativ 10 ori mai mică decât lungimea lor axială. Traductoarele conțin un piezoelement de 5 mm în diametru, care dictează diametrul initial al undei ultrasonice în regiunea apropiată care diverge la aproape 9.5 mm la 7 cm adâncime. Deci, poziția considerată a traductorului va fi aceea corespunzătoare axei centrale. Câmpul de viteză este astfel mediat în jurul axei traductorului, care este întotdeauna descrisă de un set de coordonate x și z.

Pentru această tehnică de măsurare, toate profilele prezintă de obicei artefacte de măsurare în regiunea apropiată a câmpului (aproximativ 10 mm pentru o topitură de GaInSn la 4.130 MHz, pentru un traductor cilindric cu un diametru de 5 mm).

Rezultate

Modelarea numerică pentru amestecarea electromagnetică într-un creuzet pătrat izoterm

Modelările numerice pentru amestecarea electromagnetică a topiturii de GaInSn în interiorul unui creuzet rectangular arată că structura de curgere depinde de valorile curenților electrici *I* care trec prin electrozi și câmpul magnetic aplicat *B*. Pentru o poziționare simetrică a electrozilor de-a lungul diagonalei suprafeței libere de topire, s-au observat două structuri principale, care par să domine curgerea fluidului. Aceste tipuri de structuri pot fi mai bine observate pentru valori extreme ale curentului electric la diferite câmpuri magnetice aplicate, după cum se poate vedea în Figura 3. Liniile de curgere au fost ilustrate folosind programul Paraview, prin grafice reprezentând traiectoriile particulelor din două surse de curgere plasate în partea de sus (albastru) și partea de jos (roșu) a structurii de vortex. Componenta radială a curentului electric combinată cu câmpul magnetic vertical generează o distribuție de forță Lorentz care generează o mișcare rotațională a topiturii. Datorită unei curgeri meridionale convergente, generată de gradientul de presiune radială, mișcarea rotațională este concentrată spre centru într-o structură de tip vortex ascendent [3]. Acest tip de structură este foarte bine cunoscută în literatura de specialitate [1], [4-6].

Curgerea generată de un electrod se intersectează cu cea de-a doua curgere (în direcție radială) generată de celălalt electrod. Curgerea rezultată este canalizată de-a lungul diagonalei dintre electrozi și se îndreaptă în jos în colțul superior și apoi din nou în colțul inferior, după cum se poate observa și în Figura 3. Am numit acest tip de curgere recirculație poloidală.

Pentru valori mici ale *I*, până la 2A, în funcție de câmpul magnetic, vortexul rotitor care apare sub fiecare electrod este mai puternic decât recirculația poloidală și se extinde în jos până în partea inferioară a creuzetului (Figura 3 (a), (c)). În acest caz vortexurile conectează toată structura în direcția poloidală.

Pentru valori ridicate ale *I*, de la 2 A la 25 A, în funcție de câmpul magnetic, structura de curgere se schimbă. Recirculația poloidală devine mai puternică și împarte vortexul de sub fiecare electrod în două vortexuri localizate în partea superioară, respectiv în partea inferioară a creuzetului (Figura 3 (b), (d)). Recirculația poloidală conectează cele două vortexuri formate în jurul electrozilor (albastru), și colectează curgerea ce își are originea în vortexurile din partea inferioară (roșu).





Figura 3. Traiectoriile particulelor pentru diferite valori ale curentului electric I și ale câmpului magnetic B

Pentru simplitate, ne vom referi la prima structură descrisă aici ca structură "Vortex", datorită dominației în curgere a componentei vortex și la ce-a de-a doua precum "Poloidală", datorită dominației componentei poloidale a curgerii.

Pentru o descriere mai detaliată a fenomenelor care generează diferitele structuri, datorită simetriei curgerii, vom examina curgerea în jurul unui singur electrod, care este ilustrată în Figura 4 pentru o anumită valoare a inducției câmpului magnetic (B=30 mT). Datorită unghiului de vizualizare, interacția dintre structura vortex și recirculația poloidală este accentuată. În Figura 4 (a), putem observa cazul dominației structurii vortex. Aproape de partea inferioară a creuzetului, curgerea poloidală interacționează cu cea dominată de vortexul opus în poziția marcată de săgeata neagră. În cazul din Figura 4(a), o structură clară de tip vortex poate fi observată sub electrod și curgerea poloidală este absorbită în vortex pe o direcție ascendentă. Odată cu creșterea intensității curentului electric, intensitatea curgerii poloidale crește de asemenea și structura vortex este deformată gradual (Figura 4 (b) și (c)). În aceste cazuri de tranziție spre o curgere dominant poloidală, vortexul absoarbe doar o parte din recirculația poloidală. Pentru valori suficient de mari ale curentului electric (de ex. I = 45 A), o structură "Poloidală" este obținută (Figura 4 (d)). În acest caz structura de vortex este împărțită în două vortexuri, unul aproape de suprafață și altul aproape de partea inferioară a creuzetului. Curgerea poloidală absoarbe acum ambele vortexuri și le conectează printr-o recirculație complexă.



Figura 4. Traiectoriile particulelor pentru diferite valori ale curentului electric I și ale câmpului magnetic B

Pentru a caracteriza interacția dintre curgerea de tip "Vortex" și curgerea "Poloidală", vom considera distanța de-a lungul diagonalei unde cele două curgeri opuse sunt echilibrate în partea inferioară, marcată de o săgeată neagră în Figura 4. În plan orizontal, la 5 mm înălțime față de partea inferioară (Figura 5), putem vedea clar poziția pe diagonală unde această echilibrare între structurile de curgere este atinsă. Putem astfel defini un parametru L_{struct} ca fiind o lungime caracteristică ce corespunde structurii de curgere.



(a) I = 0.1A, B = 20 mT (vortex)



(b) I = 1A, B = 20 mT (vortex)



(c) $\overline{I = 5 \text{ A}, B = 20 \text{ mT} (\text{tranziție})}$



Figura 5. Structura curgerii simulată pentru diferite valori ale curentului electric I (0.1 A – 45 A) şi câmpului magnetic B = 20 mT la 5 mm de la baza creuzetului. Săgeata indică locul unde se echilibrează curgerea de tip vortex cu cea de tip poloid. Culorile reprezintă magnitudinea vitezei (roşu - viteză mare; albastru - viteză mică)

În Figura 6, L_{struct} a fost trasat pentru curenții electrici și câmpurile magnetice folosite în simulări. Fiecare rezultat din simulări a fost analizat în concordanță cu criteriul pentru identificarea tipului structurii de curgere ("Vortex", "Poloidală" sau tranziție) prezentat anterior.



Figura 6. L_{struct} ca lungime caracteristică ce definește tranziția dintre structura de tip vortex și cea de tip poloid pentru diferite valori ale curentului electric *I* și câmpului magnetic *B*

Din Figura 5 se poate observa că, aproape de partea inferioară a creuzetului, unde poziția interfeței de cristalizare ar trebui să fie în cazul solidificării direcționale, distribuția vitezelor înalte de curgere (roșu) este mai largă și mai uniformă pentru cazurile "Poloidale" decât cele "Vortex". De asemenea, zonele unde topitura este foarte puțin amestecată (zonele "moarte", cu viteze foarte mici, reprezentate cu albastru închis) sunt distribuite pe o zonă îngustă și concentrate spre un colț, care scad în mărime odată cu creșterea intensității curentului *I* pentru un anumit *B*. Se poate concluziona că structurile de curgere "Poloidale" ale amestecării topiturii în câmp electromagnetic vor duce la o rată de formare de precipitați mult mai scăzută decât în cazul structurilor de tip "Vortex".

Validarea metodei numerice printr-un model experimental

Pentru a valida existența structurilor de curgere prezise de modelările numerice, profilele experimentale de velocimetrie Doppler cu ultrasunete au fost obținute cât mai aproape de planul unde tranziția de la structură "Vortex" la cea "Poloidală" a fost cuantificată. Centrele piezoelementelor traductorilor ultrasonici au fost poziționate cât mai aproape de baza creuzetului, la z = 6 mm de la baza creuzetului, datorită diferenței relative dintre baza creuzetului și înălțimea suporților traductorilor. Coordonata x a lor, din partea stângă a creuzetului au fost: stânga – 8.5 mm; mijloc – 35.5 mm; dreapta – 62.5 mm. Profilele experimentale au fost comparate pe același grafic cu profilele de viteză obținute de-a lungul direcției Oy din modelările numerice pentru aceleași poziții x și z ca și pozițiile pe axă ale traductorilor.

Figura 7 (a) arată o comparație între rezultatele numerice și cele experimentale pentru o structură de tip "Vortex", obținute la 2 A și 30 mT, pe când Figura 7 (b) arată o comparare între modelul numeric și experiment pentru o structură de tip "Poloidală", obținută la 5 A și 5 mT. Cazul "Vortex" arată ca forma profilelor de viteză este aceeași în modelul numeric și în experiment, fapt care denotă aceeași structură de curgere. Pentru cazul "Poloidal", forma profilelor de viteză este puțin diferită în experiment față de simulare, cu o diferență mai mare pentru traductorul din partea stângă, ceea ce denotă o structură de curgere comparabilă. Este de așteptat ca în cazul "Poloidal" să existe o diferență mai mare datorită curgerii tridimensionale complexe. În ambele cazuri valorile vitezelor sunt mai mari în experiment decât în simulări.

Deosebirile pot apărea din incertitudinile experimentale precum viteze diferite de 0 la pereții creuzetului, zona de contact a electrozilor cu topitura, divergența razei ultrasonice, imprecizia în determinarea valorilor parametrilor electromagnetici (datorate oscilațiilor intensității curentului sau mici neomogenități ale câmpului magnetic) sau acuratețea constantelor de material folosite în modelul numeric.



Figura 7. Profilele experimentale si numerice de viteză mediată în timp pentru fiecare din cei trei traductori (numite *left*-stânga, *middle*-mijloc, *right*-dreapta) la: (a)I = 2 A și B = 30 mT; (b) I = 5 A și B = 5 mT

Referințe:

- [1] V. Bojarevics, Ya. Freibergs, E. I. Shilova, E. V. Shcherbinin, Electrically Induced Vortical Flows, Kluwer Academic Publishers, 1989, pp. 6, 174-195.
- [2] A. Cramer, C. Zhang and S. Eckert, Local flow structures in liquid metals measured by ultrasonic Doppler velocimetry, Flow Measurement and Instrumentation 15 (2004), 145-153.

- [3] T. Vogt, I. Grants, S. Eckert, G. Gerbeth, Spin-up of a magnetically driven tornado-like vortex, Journal of Fluid Mechanics 736 (2013), 641-662.
- [4] R. Moreau, Magnetohydrodynamics, Springer, Dordrecht, 1990, ch. 6, pp. 211-217.
- [5] P. A. Davidson, J. C. R. Hunt, Swirling recirculating flow in a liquid-metal column generated by a rotating magnetic field, Journal of Fluid Mechanics 185 (1987), 67-106.
- [6] P. A. Davidson, The interaction between swirling and recirculating velocity components in unsteady, inviscid flow, Journal of Fluid Mechanics 209 (1989), 35-55.

Activitatea 3.1. Realizarea de modelari numerice a curgerii topiturii si a interfetei de cristalizare intr-o instalatie la scala industriala pentru diferite valori ale campului magnetic si curentului electric pentru o configuratie cu 2 si 4 electrozi

În studiul de față s-a utilizat un creuzet paralelipipedic având la bază un pătrat cu latura de 7 cm și având înălțimea de 5 cm. Creuzetul este umplut cu un aliaj eutectic de GaInSn, ales deoarece este un material lichid la temperatura camerei, iar vâscozitatea dinamică și conductivitatea electrică au valori apropiate de cele ale siliciului. De aceea este folosit frecvent în experimente model.

Un curent electric este injectat în topitură prin intermediul a patru electrozi plasați la suprafața liberă a topiturii. Cei patru electrozi sunt dispuși de-a lungul celor două diagonale, foarte aproape de marginile creuzetului așa cum se vede în Figura 1.



Figura 1. (a) Reprezentarea schematică a modelului numeric cu patru electrozi utilizat în modelarea numerică; (b) dispunerea celor patru electrozi la nivelul suprafeței libere a

topiturii

Curentul este introdus în circuit cu ajutorul a două surse de tensiune astfel încât prin cei doi electrozi dispuși de-a lungul unei diagonale curentul electric iese din topitura, iar prin cei dispuși de-a lungul celeilalte diagonale curentul electric intră în topitură (Figura 1(a)). Întregul ansamblu experimental este apoi plasat într-un câmp magnetic vertical. Combinația dintre curentul electric și câmpul magnetic duce la apariția unei forțe Lorentz care generează o rotație a topiturii.

Studiile efectuate pe o configurație cu doi electrozi, fie dispuși simetric, fie dispuși asimetric, au relevat apariția unor structuri de tip vortex sau poloidală în funcție de valorile curentului electric și ale inducției câmpului magnetic. Aceste structuri duc la o bună amestecare a topiturii în întreg volumul topiturii, însă mai există zone în care topitura nu este antrenată în mișcare. Pentru a încerca evitarea apariției acestor "zone moarte" în topitură s-au utilizat patru electrozi.

În modelarea numerică efectuată s-au luat în considerare două/trei valori ale intensității curentului electric, între 10 și 40 A și s-a fixat valoarea inducției câmpului magnetic la 30 mT. Simulările numerice au fost realizare cu programul STHAMAS3D și s-au simulat 1000 secunde în timp real.

În cazul modelărilor numerice efectuate cu doi electrozi se observă, pentru o intensitate de 10 A, apariția a două vortexuri centrate în jurul fiecărui electrod (Figura 2 (a),(b)). În configurația simetrică (SC), cele două vortexuri pornesc de la suprafața liberă a topiturii, intersectându-se în apropiere de partea de jos a creuzetului. În cazul dispunerii asimetrice (AC) a electrozilor se observă apariția unui vortex central care acționează pe toată lungimea topiturii, de la suprafața liberă până la fundul creuzetului. De asemenea, se mai observă apariția unui vortex și în jurul electrodului poziționat aproape de marginea creuzetului, acțiunea sa fiind însă destul de restrânsă, mișcarea de rotație a topiturii fiind dominată de vortexul central (Figura 2 (b)).

Spre deosebire de cazurile cu doi electrozi, în configurația cu patru electrozi pentru 10A, 30 mT se observă apariția a patru structuri de convecție (vortexuri înclinate) generate de cei patru electrozi (Figura 2(c)). Asemenea structurii poloidale observate în cazul cu 2 electrozi, un vortex pornește din dreptul fiecărui electrod, având axa de rotație înclinată diagonal. Vortexurile corespunzătoare electrozilor de pe aceeași parte se unesc în centrul topiturii, rotația lor trecând treptat în planul meridional. Astfel rezultă două

structuri poloidale, una pe o latură corespunzătoare electrozilor conectați la o sursă de curent din Figura 1(a) și alta pe latura corespunzătoare electrozilor conectați la cealaltă sursă. Ele se intersectează în centrul topiturii ceea ce duce la o mai bună amestecare a ei. Aceste structuri sunt observabile din partea inferioară a creuzetului (Figura 2(d)) ca două rulouri de convecție, cu o simetrie pe linia mediană a bazei creuzetului. În cazul unei configurații de solidificare direcțională, aceste rulouri de convecție ar transporta impuritățile ce se acumulează la nivelul interfeței de solidificare, ducând astfel la o mai bună omogenizare a acestora în topitură.



- (a) Doi electrozi dispuși simetric
- (b) Doi electrozi dispuși asimetric



(c) Patru electrozi
(d) Patru electrozi, vedere din partea inferioară
Figura 2. Curgerea topiturii pentru I = 10 A; B = 30 mT pentru diferite moduri de dispunere a electrozilor

Pe măsură ce valoarea intensității curentului electric crește, se observă că în cazul dispunerii simetrice a celor doi electrozi apare o tranziție către o structură de tip poloid, cele două vortexuri ce pornesc de la suprafața liberă a topiturii intersectându-se pe direcție radială mult mai aproape de suprafața liberă a topiturii (Figura 3(a)). În cazul configurației asimetrice (Figura 3(b)), vortexul central rămâne dominant, însă crește în intensitate și vortexul centrat în electrodul plasat aproape de colțul creuzetului. În schimb, structura de curgere devine mai complexă în cazul configurației cu patru electrozi (Figura 3(c),(d) și Figura 4(a),(b)) cele patru vortexuri unindu-se la nivelul suprafeței libere în două structuri poloidale ce se intersectează de-a lungul diagonalei ce conține electrozii prin care intră curentul electric în topitură.



(a) Doi electrozi, SC

(b) Doi electrozi, AC



(c) Patru electrozi
(d) Patru electrozi, vedere din partea inferioară
Figura 3. Curgerea topiturii pentru I=20A, B=30 mT pentru diferite moduri de poziționare a electrozilor la suprafața liberă a topiturii

Cele două bucle se deplasează pe direcție poloidală spre partea inferioară a creuzetului, unde colectează impuritățile acumulate, întorcându-se spre suprafața liberă a topiturii de-a lungul pereților creuzetului. În acest caz, aceste structuri sunt observabile ca două rulouri de convecție în partea inferioară a creuzetului (Figurile 3(d) și 4(b)), cu o simetrie mutată dinspre linia mediană spre diagonala bazei creuzetului. Se observă că în partea inferioară a creuzetului este pusă în mișcare și topitura aflată în colțurile creuzetului, evitându-se astfel acumularea de impurități nedorite pe margini în cazul unei configurații de solidificare direcțională.



Figura 4. Curgerea topiturii pentru I=40A, B=30 mT pentru configurația cu 4 electrozi: (a) vedere de ansamblu; (b) vedere din partea inferioară

Din Tabelul 1 se observă că viteza maximă a topiturii crește dacă mișcarea de rotație a acesteia este generată de patru electrozi. Astfel, comparativ cu cazurile în care curentul electric este injectat în topitură prin doi electrozi, fie dispuși simetric, fie dispuși asimetric, viteza maximă a topiturii este de cel puțin două ori mai mare pentru toate cazurile studiate. Vitezele maxime ale topiturii sunt mult mai mari în cazul configurației cu patru electrozi în acest caz nefiind necesar un timp atât de îndelungat pentru omogenizarea topiturii.

Configurația electrozilor	I (A)	B (mT)	v _{max} (m/s)
2 electrozi; SC	10	30	0.05
	20	30	0.073
	40	30	0.107
2 electrozi; AC	10	30	0.046
	20	30	0.066

	40	30	0.0956
4 electrozi	10	30	0.131
	20	30	0.185
	40	30	0.264

Tabelul 1. Viteza maximă a topiturii pentru diferite configurații ale electrozilor

Diseminare:

Articole:

1. Numerical and experimental modelling of melt flow in a directional solidification configuration under the combined influence of electrical current and magnetic field,

R. Negrila, A. Popescu, D.Vizman, European Journal of Mechanics B/Fluids, în evaluare

Participări conferințe:

1. Radu Negrila, Alexandra Popescu, Daniel Vizman - *Novel electromagnetic stirring technique in a direct-solidification configuration*, E-MRS 2014 Spring Meeting, Lille, Franta, 27-29 Mai 2014

2. Radu Andrei Negrila, Alexandra Popescu, Marius Paulescu, Daniel Vizman - *Control of convective flows in a rectangular crucible by a special type of electromagnetical stirring*, 9th PAMIR International Conference, Fundamental and Applied MHD, Riga, Letonia, 16-20 Iunie 2014

3. Radu Andrei Negrila, Alexandra Popescu, Bogdan Barvinschi, Marius Paulescu, Daniel Vizman - *GaInSn melt flow structure variation with crucible size in an isothermal electromagnetic stirring configuration*, TIM14 Physics Conference, Timisoara, Romania, 20-22 Noiembrie 2014

Director proiect, Prof.dr. Daniel Vizman