



Projekta “Skaitliskās modelēšanas pieeju izstrāde kompleksu multifizikālu mijiedarbības procesu izpētei elektromagnētiskajās šķidrā metāla tehnoloģijās” (Nr. 1.1.1.1/18/A/108) pārskats par paveikto projekta ietvaros laika posmā no 01.04.2022– 30.06.2022

Šajā laika posmā projekta grupa ir paveikusi sekojošo:

1. Projekta ietvaros notikuši zinātniskie semināri:
28.04.2022 plkst 15:00 notika seminārs “Cenos 5th birthday Workshop for engineers&physicists”, kurā piedalījās projekta zinātniskais vadītājs A. Jakovičs ar referātu “Simulation development in Latvia: Liquid metal technology case”
2. Projekta ietvaros publicēti raksti:
 - 1) M.Birjukovs, P. Zvejnieks, T. Lappan, M. Sarma, S. Heitkam, P. Trtik, D. Mannes, S. Eckert, A. Jakovičs “Particle tracking velocimetry in liquid gallium flow around a cylindrical obstacle”, *Experimentals in fluids*, Vol.63, Issue6, June 2022 (MP12)
 - 2) S.Pavlovs, A. Jakovičs, A.Chudnovsky, Yu. Ivochkin, I.Teplyakov, D.Vinogradov “Numerical and experimental study of electrovortex flow and temperature field in liquid metal with bifilar power supply”, *Magnetohydrodynamics*, Vol. 58 (1), 2022 , pp 65-79 (MP12)
 - 3) V. Dzelme, A. Jakovics, E. Baake “Dynamics of liquid metal layer in tranverse AC magnetic field”, *Magnetohydrodynamics*, Vol. 58 (1-2), 2022 , pp 141-149 (MP12)
 - 4) P. Zvejnieks, M. Birjukovs, M. Klevs, M. Akashi, S. Eckert, A. Jakovics “MHT-X: Offline Multiple Hypothesis Tracking with Algorithm X”, *Physics of fluids*, 2021 (MP12).
3. Šajā periodā tika īstenotas darbības nr. 1., 1.1., 1.2., ,8., 9., 10., 11., 12., 12.1, 12.2, 12.3.

Tajās šajā periodā paveikts sekojošais:

1. Projekta zinātniskā vadība (7.2019 – 6.2022)

Sagatavota projekta noslēguma atskaite atbilstoši noteiktajai formai. Apkopoti materiāli un sagatavotas projekta 8., 9. 10. un 11. aktivitāšu atskaites.

8. Kompleksajiem tehnoloģiju modeļiem atbilstošo modelēšanas metodiku un rīku (programmu) komplektācija un dokumentācija (7.2021 – 6.2022)

Pabeigta izstrādāto aprēķinu programmatūras “rīku” dokumentēšana, t.sk., publicējot to algoritmus, struktūras aprakstus un darbību raksturojošo informāciju zinātniskas publikācijās. Vairāki izstrādātie programmatūras “rīki”, kas saistīti ar attēlu un specifisku eksperimentālo un aprēķinu datu apstrādi, kā arī ar eksperimentu un

aprēķinu rezultātu specifisku vizualizāciju ir padarīti arī publiski pieejami, tos publicējot repozitorijā *GitHub*, kur tos var izmēģināt visi interesenti.

Pabeigta citu izstrādāto atvērtā koda skaitliskās modelēšanas programmatūras moduļu komplektācija un dokumentēšana:

- programma metāla slāņa dinamikas izpētei augstfrekvences elektromagnētiskajā laukā, kas realizēta sasaistot Elmer un OpenFoam atvērtā koda programmatūras vides;
- programma burbuļu plūsmas elektrovadošā šķidrums magnētiskā laukā modelēšanai, izmantojot ar EM lauka aprēķinu papildināto PSI-BOIL biblioteku;
- programma ķīmisko reakciju modelēšanai Open FOAM vidē iekļaujot elektromagnētiskās iedarbības efektus;
- Programma elektromagnētiskās indukcijas lauka procesu modelēšanas divpusējai sasaistei ar iekārtu elektrotehnisko aprēķinu.

9. Izvēlētu pētāmo komplekso procesu modeļu rezultātu verifikācija, izmantojot industriāla mēroga iekārtu prototipus (4.2021 – 6.2022)

Atbilstoši iepriekš izstrādātajam mazgabarīta industriālas iekārtas prototipa kausēšanai ar līdzstrāvas elektrisko loku projektam, SIA “Latvo” tika veikti iepriekš komplektētās, samontētās un praktiski izmēģinātās iekārtas lietojumi tērauda kausēšanai. Tika sasniegtas tērauda kušanas temperatūras un fiksēta šķidrā metāla “vannas” izveidošanās. Izmantojot industriālu temperatūras zondi un termogrāfijas iekārtu tika veikti temperatūru mērījumi kausējumā, uz tā virsmas un uz mazgabarīta iekārtas ārējām virsmām. Tika novērtētas iespējas izmantot iekārtu dažādu metālu sakausējumu ar atšķirīgu kušanas temperatūru kausēšanai. Veiktie eksperimenti kvalitatīvi apstiprināja modeļiekārtā ar zemas temperatūras sakausējumu un skaitliskajā modelēšanā iegūtos rezultātus. Kā šīs aktivitātes rezultāts ir reģistrēts Latvijas patenta pieteikums.

10. Būtisko multifizikālās mijiedarbības procesu izveidotajos kompleksajos modeļos likumsakarību parametriska izpēte un modeļu ierobežojumu noteikšana (7.2021 – 6.2022)

Pabeigta 7. aktivitātē izveidoto komplekso modeļu ar būtisku EM, HD un termisko procesu savstarpējo mijiedarbību likumsakarību izpēte izmantojot izstrādātos skaitļošanas “rīkus”:

- plānam šķidrā metāla (kausējuma) slānim aksiāli simetriskā ārējā augstfrekvences induktora laukā, kur tiek novērotas no lauka intensitātes un materiāla daudzuma būtiski atkarīgu nestabilitāšu, kuru raksturs, mainoties sistēmas parametriem, mainās kvalitatīvi veidošanās. Izstrādātie programmatūras rīki šo nestabilitāšu veidus ļauj kvalitatīvi atspoguļot;
- šķidrā metāla plūsmai un virsmas nestabilitātēm plānā metāla slānī uz plakanas virsmas taisnstūrveida apgabalā ar augstfrekvences induktoru, kas ir garāks par metāla apgabalu un novietots pie viena apgabala sāna. Te eksperimentāli konstatēta un skaitliski modelēta līdzīga kā cilindriska induktora gadījumā metāla virsmas nestabilitāšu atkarība no sistēmas parametriem;
- šķidrā metāla plūsmai un kristalizācijai uz kustīgas un dzesētas lentas, kur procesa dinamiku būtiski ietekmē dzesēšanas intensitāte, lentas ātrums, elektromagnētiskā iedarbība un materiāla virsmas spraigums;

- burbuļu ķēžu kustībai, atsevišķo burbuļu formai, to mijiedarbībai un tipiskajām nestabilitātēm pie dažādām gāzes ieplūdes intensitātes ar un bez ārējā magnētiskā lauka iedarbības;
- līdzstrāvas elektrovirpuļplūsmām un sekundārai rotācijai tajās atkarībā no elektrodu formas un novietojuma, metāla kušanas procesam un leģējošo piedevu homogenizācijai loka kausēšanas krāsns tipa iekārtām.

11. Iegūto rezultātu analīze un apkopošana (01.2022 – 6.2022)

Atbilstoši plānam pabeigta jaunāko iegūto rezultātu analīze un apkopošana. Senāk iegūto rezultātu analīze jau tika veikta iepriekš - tie apkopoti un daļēji arī publicēti. Jaunāko izanalizēto rezultātu jomā jāakcentē:

- plāna metāla slāņa dinamika lineāra un cilindriska augstfrekvences induktora laukā;
- metāla kušanas un leģēšanas ar piedevām process industriālā līdzstrāvas elektriskā loka krāsni;
- vairāku ieplūžu burbuļu plūsmu mijiedarbības dinamika ar un bez ārējā magnētiskā lauka;
- skaitlisko efektu loma procesu modelēšanā ar būtisku reakciju lomu;

12. Zinātnisko referātu konferencēm un publikāciju sagatavošana (7.2019 – 6.2022)

Par šo problemātiku pārskata periodā tika gatavoti arī referāti konferencēm un zinātniskās publikācijas, bet konferences (HES 2023 un PAMIR 2022), to termiņu pārceļot Covid-19 infekcijas un Krievijas iebrukuma Ukrainā dēļ, notiks jau pēc projekta realizācijas termiņa beigām. Arī iesniegtās publikācijas ilgā redakcionāla procesa dēļ iznāks 2022/23. gados. Neskatoties uz to projekta zinātnisko referātu un publikāciju plāns ir izpildīts.

Projekta zinātniskais vadītājs A. Jakovičs, e-pasts: andris.jakovics@lu.lv
Administratīvais vadītājs: L. Bandeniece, e-pasts: liene.bandeniece@lu.lv

30.06.2022