



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 01.04.2021– 30.06.2021

Šajā laika posmā projekta grupa ir paveikusi sekojošo:

1. Projekta ietvaros notikuši zinātniskie semināri:
28.04.2021 notika zinātniskais seminārs “Burbuļu ķēdes magnetohidrodinamiskās plūsmas sadalījums dinamiskajās modās”, kurā uzstājās ERAF projekta sadarbības partnera zinātniski tehniskais inženieris Mārtiņš Klevs.
2. Komandējumi:
Projekta darbinieku dalība starptautiskā zinātniskā konferencē “Electromagnetic processing of materials” (EPM 2021), kas notika Rīgā no 14.06.2021 līdz 16.06.2021. Projekta personāls piedalījās ar 6 referātiem.
3. Projekta ietvaros iesniegti raksti:
- Pēc konferences vismaz 2 referātu pilnie teksti tiks atlasīti publicēšanai žurnāla Magnetohydrodynamics (iekļauts Scopus) 2022.g. 1.- 2. numuros.
4. Šajā periodā tika īstenotas darbības nr. 1., 1.1., 1.2., 3., 3.1, 3.2, 3.3., 4., 4.1, 4.2, 4.3., 6., 6.1., 6.2., 6.3., 7., 7.1., 7.2., 7.3., 7.4., 12., 12.1, 12.2, 12.3.
Tajās šajā periodā paveikts sekojošais:

3. Nepieciešamo skaitliskās modelēšanas rīku pilnveidošana (07.2019 – 06.2021)

3.1. EOF bibliotēka

Tika pabeigta EOF bibliotēkas papildināšana ar konkrēto MHD tehnoloģiju modelēšanas iespēju nodrošināšanai nepieciešamajiem programmatūras “rīkiem”, t.sk.:OpenFoam tika

- nodrošinātas inducētās strāvas blīvuma korekcijas, ko nosaka šķidrums kustība, iespējas;
- iekļauti pilnie elektromagnētisma vienādojumi, lai varētu pilnvērtīgi risināt MHD problēmas. Šinī gadījuma risinājums tiek realizēts ievērojot EM lauka laika atkarību;
- Iekļauta metālu kristalizācijas (sacietēšanas) procesu modelēšana. Šajā gadījumā tiek konstruēta gluda (diferencējama) kļūdu funkcija, kas nodrošina stabilus aprēķinu rezultātus.

3.2 Bolcmaņa šūnu metode

Pēc dažādu brīvpiekļuves programmu, kas realizē Bolcmaņa šūnu metodes (Lattice Boltzmann method - LBM) aprēķinus, apzināšanas un izmēģināšanas (skat. iepriekš sniegto informāciju), tika izvēlēta iespēja attīstīt LBM divfāžu plūsmai izmantojot Griničas universitātes skaitļošanas zinātnes un inženierijas pētnieku grupas izstrādes

un attīstīt tās MHD lietojumiem sadarbībā ar šīs grupas pētniekiem. Tika parādītas izvēlēto kodu implementācijas iespējas. Vienlaikus šīs LBM pieejas rezultātu verificācijas vajadzībām tika izveidoti rīki plūsmas modelēšanai izmantojot atvērtā koda programmatūru uz VOF pieejas bāzes.

3.3. Komerčiālas programmatūras problēmorientēti skripti

Pabeigta ar pētāmajiem MHD procesiem saistīto elektromagnētisko, termisko un hidrodinamisko matemātisko modeļu un attiecīgo procesu sasaistes rīku ANSYS Maxwell, Fluent un CFX vidēs izstrāde, t.sk. izveidoti skripti:

- Ansys CFX un Maxwell programmu divpusējai sasaistei EM un HD aprēķinos, kur to aktuālo mijiedarbību nevar ignorēt;
- Elektrovirpuļplūsmu parametrisko pētījumu automatizēšanai;
- Elektromagnētiskas indukcijas procesu parametrisko pētījumu automatizēšanai.

Visos šajos trīs aktivitātes apakšvirzienos plānotie darbi pilnībā pabeigti.

4. Partikulāro matemātisko modeļu formulēšana, implementācija un skaitliskā verificācija (10.2019 – 09.2021)

4.1. Elektrovadoša šķidrums un tā virsmas dinamika mijiedarbībā ar EM lauku

Tika turpināta izveidoto matemātisko modeļu elektrovadoša šķidrums turbulentai plūsmas un virsmas dinamikas aprēķinam ārējā EM laukā pārbaude un izmēģināšana. Tai skaitā tika analizēti šādu MHD procesu modeļi:

- plūsma aksiāli simetriskā apgabalā ārējā induktora laukā, iekļaujot semilevitāciju un levitāciju;
- plūsma taisnstūrveida konteinerā rotējošu pastāvīgo magnētu laukā;
- plūsma plānā metāla slānī uz plakanas virsmas augstfrekvences laukā.
- plūsma un kristalizācija uz kustīgas un dzesētas virsmas.

4.2 Šķidra metāla un gāzes burbuļu divfāzu plūsmas mijiedarbība ar EM lauku

Tika turpināta izveidoto alternatīvo matemātisko modeļu gāzes burbuļu ar dažādu to raksturīgo izmēru un plūsmas intensitāti dažādos procesu bezdimensionālo parametru diapazonos dinamikas izpēte šķidrā metālā ar vertikālu vai horizontālu ārējā magnētiskā lauka iedarbību, kā arī bez tās. Iegūto rezultātu analīzei tikai izmantoti iepriekš izstrādātie analīzes rīki, kas ļauj identificēt un analizēt dažādu laika un telpas dimensiju plūsmas struktūras (modas).

4.3. Elektrovirpuļplūsmas

Tika turpināta 6 atšķirīgu elektrovirpuļplūsmu realizāciju, ko izraisa ar vairākiem elektrodiem un pie atšķirīga to novietojuma attiecībā pret šķidrā metāla tilpumu pievadītā līdzstrāva, modeļu izmēģināšana un analīze. Iegūtie rezultāti tika analizēti kontekstā ar eksperimentālajiem datiem, kas iegūti laboratorijā.

Visu šo 3 apakšaktivitāšu darbus plānots pabeigt 3. kvartālā.

6. Izveidoto modeļu un skaitlisko metodiku eksperimentāla verificācija (04.2020 – 12.2021)

6.1. Elektrovadoša šķidrums un tā virsmas dinamika mijiedarbībā ar EM lauku

Eksperimentos tika konstatēta būtiska šķidrā metāla virsmas pacēluma, ko ierosina rotējošie magneti, izmaiņa ne tikai pa konteineru platumu, bet arī pa konteineru

biezumu. Tas deva ierosmi skaitliskā modeļa pilnveidei iekļaujot tajā detalizētāku turbulento pulsāciju ietekmes analīzi, kā arī parādīja nepieciešamību veikt smalkāku apgabala diskretizāciju. Šādi uzlabots skaitliskais modelis tika izmēģināts. Vienlaikus precīzākai virsmas dinamikas detektēšanai tiek veidota optisko mērījumu sistēma ar lielu kadru skaitu sekundē un uzlabotu telpisko izšķirtspēju.

6.2 Šķidra metāla un gāzes burbuļu divfāzu plūsmas mijiedarbība ar EM lauku

Tika turpināta eksperimentu sērijās PSI (Šveice) ar NEUTRA un ICON neutronu stariem iegūto rezultātu sistēmatiska analīze un salīdzināšana ar atbilstošu skaitlisko modeļu rezultātiem to verifikācijai. Kopumā tika konstatēta uz VOF pieejas bāzētās programmatūras rezultātu laba atbilstība šiem eksperimentālajiem datiem, bet darbs vēl turpinās.

6.3. Elektrovirpuļplūsmas

Tika turpināta laboratorijas eksperimentu sērijās, kas veiktas sadarbībā ar Maskavas Augsttemperatūru institūtu (MAI) iegūto rezultātu dažādas konfigurācijas elektrovirpuļplūsmām sistemātiska salīdzināšana ar ANSYS Fluent un OpenFoam vidē izveidoto skaitlisko modeļu aprēķinu rezultātiem. Arī šeit kopumā tika konstatēta laba rezultātu atbilstība plūsmai, tomēr problēmas radīja vidējā temperatūras līmeņa saskaņošana starp eksperimentu un aprēķinu. Tika meklēti iemesli šīm novirzēm un izmēģināti iespējamie paņēmieni noviržu samazināšanai

Visu šo 3 apakšaktivitāšu darbus plānots pabeigt 4. kvartālā.

7. Industriālu EM tehnoloģiju kompleksu un būtiski nelineāru modeļu izveide, implementācija un pārbaude (07.2020 – 12.2021)

7.1. Elektromagnetiska lentas liešana

Tika turpināts darbs pie kausējuma tiešās elektromagnetiskās lentas liešanas procesa skaitlisko modeļu implementācijas, izmēģināšanas un aprēķinu veikšanas OpenFoam programmas vidē. Tika pilnveidota šī procesa 3D modeļa implementācija un veikta tā izmēģināšana. Lai veiktu pilnvērtīgu 3D nestacionārā modeļa realizāciju ar nepieciešamo precizitāti, tas tika pārņemts uz augstāzīgu Skaitliskās modelēšanas institūta datorklasteri un uz tā tika veikta virkne izmēģinājuma aprēķinu. Papildus esošajām modeļa sakarībām, tai tika iekļauts arī kristalizācijas procesa apraksts elektromagnētiskajā laukā.

7.2. Burbuļu plūsmas EM vadība šķidrā metālā reaktorā ūdenraža ražošanai

Tika turpināta reaktora kolonnas ar šķidro metālu matemātiskā modeļa izstrāde un implementācija atvērtā koda programmatūras un ANSYS CFX vidēs. Izvēlēta reaktora kolonnas ģeometrija un plūsmas parametri tuvināti atbilst industriāla rakstura iekārtām. Tika veikta pāreja uz pilnvērtīgu 3D procesa aprakstu. Turpinājās izmantoto skaitlisko pieeju adekvātas pārbaude. Turpinājās divās atšķirīgās programmatūras vidēs iegūto provizorisko aprēķinu rezultātu savstarpējā salīdzināšana.

7.3. Metālu kausēšana līdzstrāvas loka krāsnī

Izmantojot izveidoto nestacionāro 3D skaitlisku modeli, tika turpināti EM un HD lauku skaitliskie pētījumi industriālā mēroga līdzstrāvas loka krāsnij ar diviem apakšējiem sarežģītas konfigurācijas un dažādi orientētiem pret vannas pamatni apakšējiem elektrodiem. Darbu turpinot tika veiktas parametriskas studijas, lai noteiktu lietojuma mērķim – homogenizācijai vispiemērotākos elektrodu slīpumus

pret pamatni novietojumu. Šie pētījumi veido daļu no priekšizpētes plānotajam patenta pieteikumam.

7.4. Elektrovadošu kausējumu homogenizācija, attīrīšana un reakciju intensifikācija, izmantojot EM iedarbību

Tuvojas nobeigumam ķīmisko reakciju solvera izstrāde OpenFOAM programmā, kas nepieciešams, lai pētītu elektrovadošu kausējumu (piem., silīcijs, izkausēti metāli) homogenizāciju un attīrīšanu. Tika izmēģināts solvera pamatvariants, kurš spēj risināt sajūgtas šķidrumu mehānikas, termisko, difūzijas un ķīmisko reakciju problēmas, bet vienlaikus turpinājās darbs un skaitliskie eksperimenti, lai izvēlētos optimālus skaitliskos parametrus un noteiktu procesa fizikālo parametru pieļaujamo diapazonu. Tika turpināts arī solvera testēšanas un aprēķinu rezultātu validācijas darbs.

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

30.06.2021