

Participarea Romaniei la EUROfusion WPMAT si cercetari complementare 2022-2024

REZUMAT

Contribuția propusă este axată pe procesarea și caracterizarea HHFM. Partea de procesare acoperă fabricarea materialelor de W folosind tehnologia bazată pe FAST, deja demonstrată a fi eficientă pentru materialele laminate de W. De asemenea, această tehnologie este aplicabilă pentru îmbinarea materialelor cu proprietăți foarte diferite, realizând o combinație între lipirea prin difuzie, brazare și sudare electrică în același timp. Cu echipamentele disponibile, INCDFM poate acoperi realizarea de componente la scară mică și în parteneriat cu INFLPR se vor face investigații nedistructive prin XRCT. În ceea ce privește investigațiile, INCDFM contribuie la caracterizarea proprietăților termofizice (proprietăți de transport termice și electrice, dilatare termică), precum și investigații ale microstructurii folosind XRD, SEM, HRTEM și diverse tehnici spectroscopice (XRF, XPS, SIMS-TOF, ICP MS, FTIR etc.). Atât tehnologiile de îmbinare, cât și metodele de caracterizare ale materialelor pot fi folosite și pentru alte activități din cadrul WPMAT, cum ar fi oțelurile sau materialele funcționale.

DESCRIEREA PROIECTULUI

In partea principală a proiectului, cercetările sunt legate de dezvoltarea materialelor HHFM întreprinsă în consorțiul EUROfusion. Astfel, ne concentrăm asupra materialelor pentru elementele divertorului DEMO, care includ componente de armură pe bază de W, materiale de interfață (compozite cu proprietăți specifice și materiale ale schimbătorului de căldură, adică materiale pe baza de Cu (aliaje CuCrZr, ODS-Cu, etc.), îmbinând dezvoltările tehnologice pentru astfel de materiale și producția de machete la scară de laborator pentru diferite teste HHF. Din punct de vedere al caracterizării materialelor, suntem responsabili în principal pentru investigațiile proprietăților termofizice ale materialelor proprii și produse în consorțiu.

Urmând planul consorțiului EUROfusion în WPMAT, în primele etape ne vom focaliza eforturile pe 3 direcții principale:

- Lamine W (dopate K) ca materiale de armură
- Dezvoltarea tehnologiilor de îmbinare (directă sau prin brazare).
- Caracterizarea fizică și microstructurală a materialelor și îmbinărilor produse în institutul nostru sau/si de către partenerii WPMAT.

Etape si activitati pentru partea principala a proiectului *)

Anul	Titlul Etapei/Activitatii	Termen
2022	Etapa I	31/12/2022
	<i>I.1. Procesare si imbinare de componente si caracterizari termofizice pentru materiale destinate aplicatiilor HHF</i>	31/12/2022
	<i>I.2. Procesare, tehnologii de imbinare si caracterizarea proprietatilor termofizice pentru materiale destinate fluxurilor mari de caldura I</i>	31/12/2022
2023	Etapa II	31/12/2023
	<i>II.1. Procesare, tehnologii de imbinare si caracterizarea proprietatilor termofizice pentru materiale destinate fluxurilor mari de caldura II</i>	31/12/2023
2024	Etapa III	30/09/2024
	<i>III.1. Procesare, tehnologii de imbinare si caracterizarea proprietatilor termofizice pentru materiale destinate fluxurilor mari de caldura III</i>	30/09/2024

*) tabelul este conform planului initial, activitatile sunt decise pentru fiecare an la nivel de proiect in PBM in concordanta cu evolutia intregului proiect EUROfusion

In partea complementara a proiectului, cercetarile sunt axate pe dezvoltarea tehnicilor de investigare nedistructiva prin XRCT, adresandu-se atat problemelor de procesare a materialelor cat si celor legate de realizarea diferitelor componente, cu accent pe analiza diferitelor tipuri de imbinari. Problemele principale sunt legate de adecvarea scalei la care sunt facute aceste investigatii si prezenta materialelor cu densitate si Z mari, precum W. Datorita absorbtiei puternice de raze X in W, speci­me­nele investigate pana in prezent au dimensiuni mici si uneori irelevante pentru componente de divertor la scala reala. Bazandu-ne pe rezultatele recent obtinute pe materiale stratificate continand cel putin o componenta din W si beneficiind de tehnicile experimentale nou implementate de grupul din INFLPR, ne propunem sa realizam diferite componente cu parti din W, cu dimensiuni si geometrii diferite care vor fi analizate in mod gradual - iterativ pentru a putea dezvolta o metodologie de investigare XRCT destinata unor astfel de componente. Astfel, integrand infrastructura si expertiza celor 2 grupuri, proiectul va putea produce rezultate stiintifice cu valoare considerabil crescuta si in acelasi timp va genera un knowhow relevant pentru dezvoltarea materialelor destinate aplicatiilor din fuziune.

Etape si activitati pentru partea complementara a proiectului

Anul	Titlul Etapei/Activitatii	Termen
2022	Etapa I	31/12/2022
	<i>I.1. Dezvoltarea tehnicilor de XRCT pentru investigarea materialelor pe baza de W. Analize pentru diferite geometrii si forme ale pieselor.</i>	31/12/2022
2023	Etapa II	31/12/2023
	<i>II.1. Dezvoltarea tehnicilor de XRCT pentru investigarea materialelor pe baza de W. Analize pentru componente complexe cu parti continand diferite materiale si evaluari ale calitatii imbinarilor.</i>	31/12/2023
2024	Etapa III	30/09/2024
	<i>III.1. Dezvoltarea tehnologiilor pentru fabricarea de machete si a tehnicilor de XRCT pentru investigarea acestor machete.</i>	30/09/2024

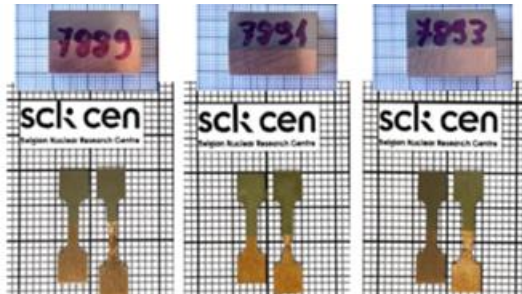
Rezultatele obtinute:

2022

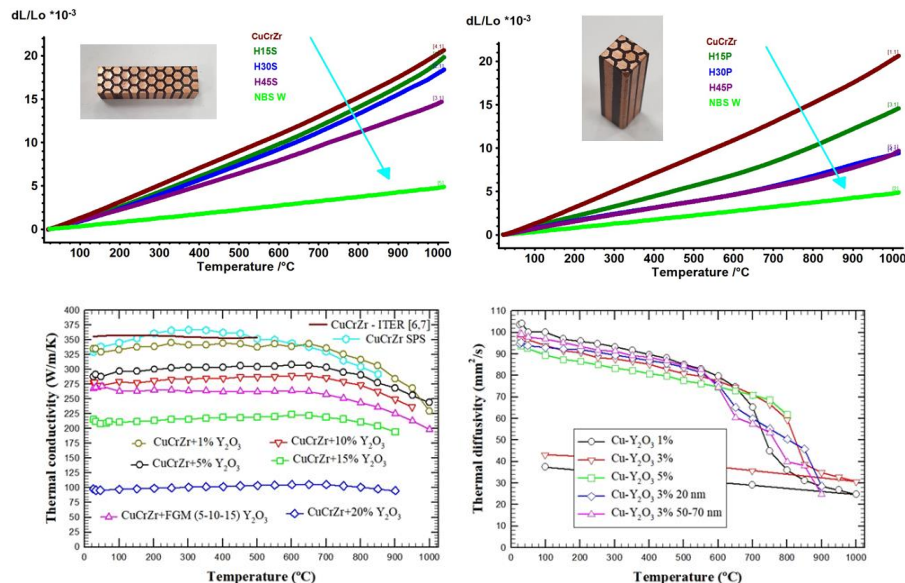
Partea principala a proiectului: toate obiectivele acestei etape au fost atinse.

În particular, s-au obținut rezultate bune în:

- ✓ Procesarea prin FAST a monoblocurilor divertorului de tip ITER realizate din lamine W dopate K (îmbunătățirea suprafețelor laterale). Dacă monoblocurile W-laminate vor fi considerate un material viabil pentru deviator, cu echipamentele actuale putem produce până la 4-500 monoblocuri/an fără a împiedica celelalte lucrări legate de sarcină.
- ✓ Realizarea prin SPS de monoblocuri de W cu calitate superioară (densitate uniformă de circa 98% din valoarea teoretică obținută în blocuri produse în formă aproape finală într-o singură etapă de sinterizare)
- ✓ Îmbinarea materialelor de volum W-CuCrZr prin FAST pentru testele SCK-CEN. Calitatea îmbinării, verificată în teste de alungire la partenerul belgian, s-a dovedit excelentă, ruperea având loc în partea de CuCrZr.



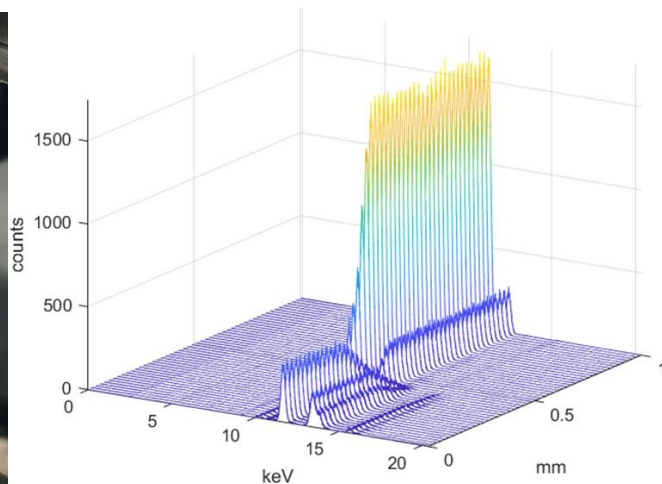
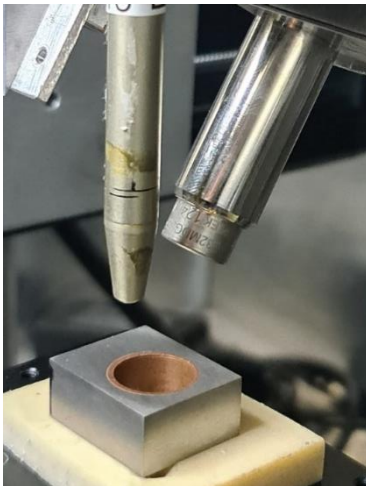
- ✓ Densificarea W prin SPS utilizând un nou ciclu inovativ și un tratament suplimentar termomecanic. S-a putut atinge astfel o densitate de 100% (față de o densitate teoretică de 19,25 g/cm³ pentru W).
- ✓ Peste 130 de probe (produse fie în NIMP, fie de către partenerii din WPMAT) au fost caracterizate din punct de vedere al proprietăților termofizice, datele fiind pregătite pentru includerea în baza de date EDDI.



Rezultatele obtinute au fost prezentate si aprobate la PMM-uri în iunie 2022 și noiembrie-decembrie 2022 în Garching, Germania, precum si in raportul final al consorțiului (Livrabila MAT-T.03.04-T017-D001, "Processing, joining and thermophysical characterization of HHF materials" a fost acceptate in consorțiu la data de 27.02.2023).

Partea complementara a proiectului: toate obiectivele acestei etape au fost atinse.

În această etapă, accentul principal a fost legat de dezvoltarea tehnicilor de investigare cu raze X pentru materiale și componente pe bază de W. INFLPR a implementat o configurație de scanare microtomografică pentru materiale compozite pe bază de wolfram și prototipuri de îmbinări dezvoltate în cadrul WPMAT de către INCDFM. Pentru caracterizarea microstructurală volumetrică a fost utilizată tomografia cu fascicul conic. În plus, a fost introdusă o mapare elementală bazată pe fluorescența cu raze X pentru a evalua calitatea aderenței între materiale disimilare. Au fost analizate mai multe mostre de diferite forme și compoziții dezvoltate ca materiale de armură răcite activ. Soluțiile de cartografiere a compoziției elementare de microtomografie cu raze X și fluorescență cu microfascicule au fost aplicate la analiza joncțiunilor directe W-Cu și a interfețelor brazate.



Rezultatele obtinute au fost prezentate la PMM-uri în iunie 2022 și noiembrie-decembrie 2022 în Garching, Germania, iar raportul final a fost aprobat in cadrul consorțiului EUROfusion in data de 31.01.2023.

Prezentari la conferinte:

- Synthesis and Irradiation response of high entropy alloys with transition and refractory metals for operation at extremes, 22nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ION BEAM MODIFICATION OF MATERIALS, Lisbon, Portugal, 10-15 July 2022, by M. Dias, R. Martins, S. Magalhães, R.C. da Silva, A.P. Gonçalves, P.A. Carvalho, J.B. Correia, A. Galatanu, E. Alves
- Behavior of Cu-Y2O3 and CuCrZr-Y2O3 composites as thermal barriers for nuclear fusion applications, 22nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON ION BEAM MODIFICATION OF MATERIALS, Lisbon, Portugal, 10-15 July 2022, by M. Dias, R. Martins, J.B. Correia, A. Galatanu, E. Tejado, J.Y. Pastor, P.A. Carvalho, E. Alves
- Development of sub-miniaturised testing methodology for W/Cu joints extracted from the ITER-specification monoblock, 32nd SOFT (32nd Symposium on Fusion Technology), Dubrovnik, Croatia, 18-23 September 2022 by K. Poleshchuk, D. Terentyev, A. Galatanu, C-C. Chang, K. Verbeken
- Properties and prospects of bulk W2C-reinforced W with DBTT at 200 °C, 32nd SOFT (32nd Symposium on Fusion Technology), Dubrovnik, Croatia, 18-23 September 2022 by P. Jenus, A. Iveković, M. Kocen, A. Abram, A. Galatanu, M. Galatanu, S. Tarancon, E. Tejado, J.Y. Pastor, M. Wirtz, G. Pintsuk, S. Novak
- Additive manufacturing of W-Cu composites for divertor application, 32nd SOFT (32nd Symposium on Fusion Technology), Dubrovnik, Croatia, 18-23 September 2022 by A. Iveković, G.K. Muralidharan, A. Galatanu, K. Vanmeensel, J. Vleugels

- Characterization of ODS-Cu alloys produced by mechanical alloying, 32nd SOFT (32nd Symposium on Fusion Technology), Dubrovnik, Croatia, 18-23 September 2022 by C. Bonnekoh, A. Galatanu, M. Rieth
- High temperature thermo-physical and mechanical properties of K-doped W laminate materials processed by FAST. 20th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanța, Romania, 12-15 July 2022, by. A. Galatanu, M. Galatanu, M. Enculescu, I. Assahsahi, B. Popescu, J. Reiser

Publicatii

"Irradiation of W and K-Doped W Laminates without or with Cu, V, Ti Interlayers under a Pulsed 6 MeV Electron Beam", D. Ticos, M. Galatanu, A. Galatanu, M. Dumitru, M.L. Mitu, N. Udrea, A. Scurtu, C.M. Ticos, Materials 15 (2022), 956.

"Damage threshold of CuCrFeTiV high entropy alloys for nuclear fusion reactors", M. Dias, S. Magalhaes, F. Antao, R.C. da Silva, A.P. Gonçalves, P.A. Carvalho, J.B. Correia, A. Galatanu, E. Alves, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 529 (2022) 49–55.

2023

Persoane de contact: A. Galatanu (gala@infim.ro)

Adresa

- **Institutul de Fizica Atomica**
- Str. Atomistilor nr. 407, Magurele
- 077125, Ilfov, Romania
- Tel: +40 (21) 457.44.93,
+40 (31) 710.15.54
- Fax: +40 (21) 457.44.56
- E-mail: euratom_fuziune@ifa-mg.ro

