



PN 23.37.01.02- "Cercetări privind modificarea proprietăților materialelor metalice utilizând metoda ecologică și inovativă de procesare prin frecare cu element activ rotitor în mediu lichid"

Rezumatul fazei 7 (partea I)

Lucrarea de față reprezintă prima parte a fazei 7 intitulată "Program experimental complex privind aplicarea SFSP la cupru/aliaje de cupru în vederea dezvoltării de tehnologii de procesare SFSP. Diseminare rezultate" a proiectului Nucleu PN 23.37.01.02 "Cercetări privind modificarea proprietăților materialelor metalice utilizând metoda ecologică și inovativă de procesare prin frecare cu element activ rotitor în mediu lichid".

În această etapă a proiectului (faza 7, partea I) s-a avut în vedere o evaluare complexă/integrată a probelor și epruvetelor din materialele abordate (cupru Cu-DHP, alamă CuZn37 și bronz CuSn6) procesate FSP și SFSP într-o trecere, prin adăugarea analizelor microstructurale și a măsurătorilor de duritate, alături de cele realizate în faza 6 (examinare vizuală și Rx, analize macroscopice, încercări la tracțiune și îndoire). Cele mai bune rezultate obținute la SFSP sunt incluse în specificații tehnologice de procesare / tehnologii experimentale de procesare.

Rezultatele pozitive ale programului de cercetări experimentale preliminare de procesare SFSP și FSP într-o trecere constituie baza conceperii și dezvoltării programului experimental complex de procesare SFSP și FSP în treceri multiple.

De asemenea, în faza 7 (partea I) s-a structurat și început o parte a programului experimental complex de procesare prin frecare cu element activ rotitor în treceri multiple în mediu de lucru lichid pentru table din alamă CuZn37. Sunt incluse și activități de diseminare și promovare a proiectului, în corelare cu planul de diseminare.


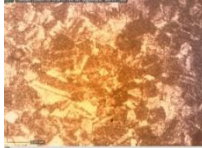

Lucrările fazei 7 (partea I) sunt structurate în șase capitole în raportul de cercetare al fazei.

Primul capitol prezintă stadiul actual al lucrărilor desfășurate în cadrul proiectului, fiind prezentate pe scurt: tematica abordată în proiect, scopul și obiectivele proiectului, precum și principalele activități realizate în cadrul fazelor 1-6 ale proiectului.

Capitolul al doilea prezintă date privind continuarea/extinderea evaluării materialelor procesate FSP și SFSP într-o trecere (în faza 6), prin realizarea de analize la nivel microstructural și măsurători de duritate ale materialelor de bază și ale probelor procesate (tabelele 1-4), precum și analize comparative ale rezultatelor obținute, în funcție de tipul procesării (FSP/SFSP) și al uneltelor utilizate, respectiv analize comparative cu materialul de bază pentru fiecare material abordat (cupru Cu-DHP de grosime 2,5mm; alamă CuZn37 de grosime 4mm și bronz CuSn6 de grosime 4mm). Probele prelevate au fost extrase din materialele de bază și din zona procesată (perpendicular pe direcția de procesare) și analizate/evaluate în secțiuni transversală. Integrarea rezultatelor obținute alături de analiza vizuală, examinarea Rx, analize microstructurale, încercări la tracțiune și îndoire, arată o evaluare complexă a acestora.

Aspectul microscopic și valorile de duritate pentru cupru Cu-DHP, alamă CuZn37 și bronz CuSn6 ca materiale de bază, neprocesate sunt prezentate în tabelul 1.

Tabelul 1 Aspect microscopic și durități materiale de bază: CuDHP, CuZn37 și CuSn6

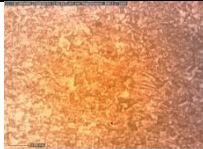
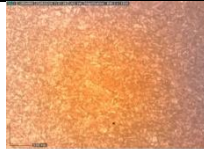
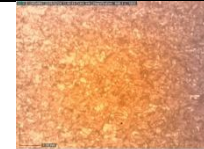
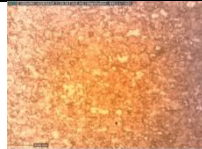
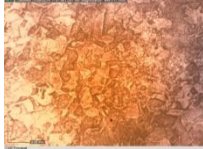
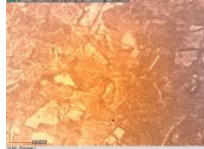
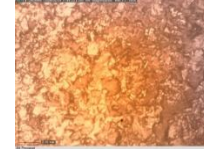
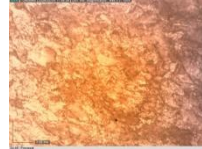
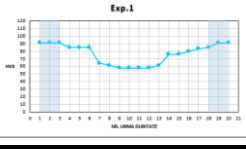
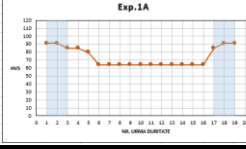
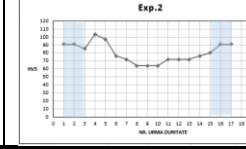
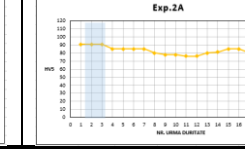
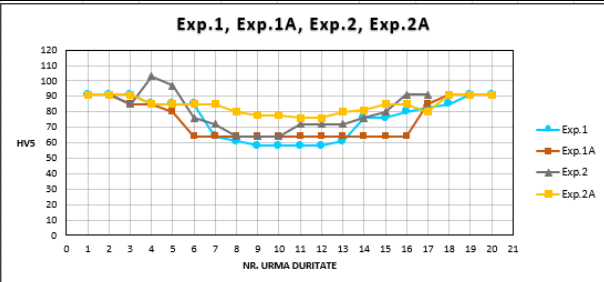
Cupru Cu-DHP (2,5mm)	Alamă CuZn37 (4mm)	Bronz CuSn6 (4mm)
Aspect microstructură materiale de bază		
		
Durități - materiale de bază		
88 HV5	118 HV5	172 HV5

Date privind parametri de procesare FSP și SFSP au fost prezentați în raportul de activitate aferent fazei 6 (tabel nr. 2), pentru cele 14 experimente analizate:

- Exp.1, Exp.2, Exp.1A și Exp.2A - pentru cupru Cu-DHP,
- Exp.3, Exp.4, Exp.5 și Exp.3A, Exp.4A, Exp.5A- pentru alamă CuZn37
- Exp.6, Exp.7 și Exp.6A, Exp.7A – pentru bronz CuSn6

Tabelul 2 din faza actuală prezintă aspectul microstructurii și variația durităților pentru probe prelevate din plăci de cupru Cu-DHP (grosime 2,5 mm) procesate FSP (Exp.1, Exp.2) și SFSP (Exp.1A, Exp.2A) într-o trecere, utilizând unelte de procesare cu două geometrii diferite (pin conic neted și pin trunchi de piramidă).

Tabelul 2 Aspect microstructuri și variație durități materiale procesate (Cu-DHP)

Exp.1 (FSP)	Exp.1A (SFSP)	Exp.2 (FSP)	Exp.2A (SFSP)		
Unealta P20S, pin conic neted		Unealta P20S, pin trunchi de piramidă			
Aspect microscopic zona adiacentă spre material de bază					
					
Aspect microscopic zona procesată					
					
Variație durități HV5					
					
Durități	Exp.1-FSP	Exp.1A-SFSP	Exp.2-FSP	Exp.2A-SFSP	
valoare medie	zona procesată efectiv (% din MB)	71 HV5 (80%)	67 HV5 (76%)	76 HV5 (86%)	81 HV5 (92%)
duritate HV5	zona spre MB (% din MB)	90 HV5 (102%)	89 HV5 (101%)	88 HV5 (100%)	91 HV5 (103%)
	tot materialul procesat (% din MB)	76 HV5 (87%)	74 HV5 (84%)	80 HV5 (91%)	84 HV5 (96%)
					

Microstructura probelor procesate, atât în aer cât și sub apă, prezintă grăunți recristalizați și măriți în zona procesată comparativ cu zona adiacentă spre materialul de bază MB, deoarece aportul termic generat în timpul FSP depășește pragul de recristalizare al cuprului Cu-DHP. Chiar și în mediu lichid, răcirea nu compensează foarte rapid căldura internă acumulată, astfel că recristalizarea e urmată de creștere rapidă a grăunților, fenomen specific materialelor cu difuzie rapidă. Utilizarea uneltei cu pin trunchi de piramidă (Exp.2, Exp.2A) determină o microstructură cu grăunți mai mici decât în cazul uneltei cu pin conic neted (Exp.1, Exp.1A), muchiile primului pin acționează mai puternic în materialul de procesat, cu o mai bună antrenare, amestecare și plastifiere a acestuia. Duritatea materialului de bază Cu-DHP este 88 HV5. Comparând duritățile pentru tot materialul procesat ținând cont de geometria uneltei și tipul procesării, se observă că:

- la procesarea FSP duritatea medie este mai mare (80 HV5 la Exp.2 față de 76 HV5 la Exp.1) în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, reprezentând 91% și 87% din duritatea MB neprocesat.
- la procesarea SFSP duritatea medie este mai mare (84 HV5 la Exp.2A față de 74 HV5 la Exp.1A) în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, reprezentând 96% și 84% din duritatea MB neprocesat.

Se constată că în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, duritatea este mai mare în ambele procesări FSP/SFSP, comparativ cu unealta cu pin conic neted.

Prin suprapunerea graficelor de duritate pentru toate cele 4 experimente analizate se observă că cea mare duritate medie a întregului material procesat este în cazul procesării SFSP la Exp.2A (unealta trunchi de piramidă), urmată în ordine desrăscătoare de Exp.2, Exp.1 și cea mai mică valoare este în cazul Exp.1A (unealtă cu pin conic neted).

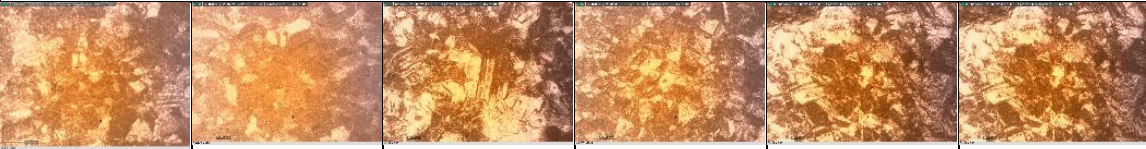
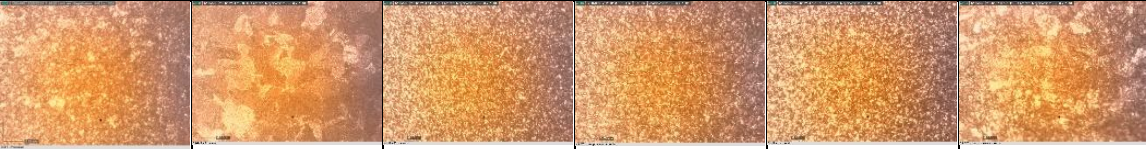
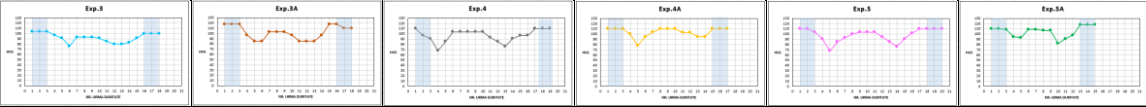
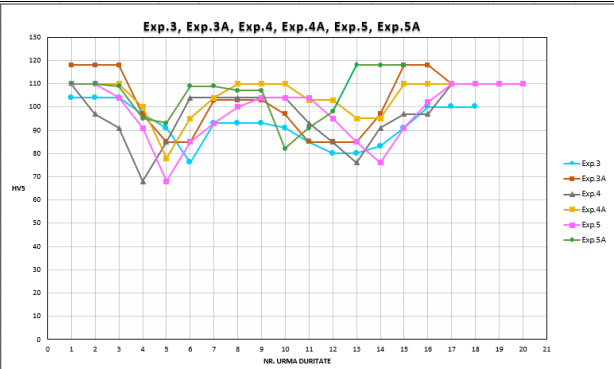
Tabelul 3 prezintă aspectul microstructurii și variația durităților pentru probe prelevate din plăci de alamă CuZn37 (grosime 4,0 mm) procesate FSP (Exp.3, Exp.4, Exp.5) și SFSP (Exp. 3A, Exp.4A și Exp.5A) într-o trecere, utilizând unelte de procesare cu trei geometrii diferite (pin trunchi de piramidă, pin cilindric filetat și pin conic neted).

Microstructura în zonele procesate comparativ cu zonele adiacente spre materialul de bază MB, atât în cazul FSP, cât și în cazul SFSP, prezintă grăunți recristalizați și măriți pentru Exp.3 și Exp.3A. Aportul termic generat în timpul FSP la Exp.3 depășește pragul de recristalizare al alamei CuZn37 (în condițiile utilizării uneltei cu pin trunchi de piramidă, care determină frecare și amestecare puternică datorită muchiilor pinului). Chiar și în mediu lichid (Exp.3A), răcirea nu compensează foarte rapid căldura internă acumulată, astfel că recristalizarea e urmată de creștere rapidă a grăunților, fenomen specific materialelor cu difuzie rapidă. Utilizarea uneltelor cu pin cilindric filetat și conic neted (Exp.4, Exp.4A, Exp.5 și Exp.5A) determină o microstructură cu grăunți mai mici decât la utilizarea uneltei cu pin trunchi de piramidă și decât microstructura materialului de bază. La Exp.4 și Exp.4A (unealtă cu pin cilindric filetat) microstructura materialului procesat are grăunți mai fini decât la celelalte experimente (Exp.3, Exp.3A, Exp.5 și Exp.5A).

Duritatea materialului de bază CuZn37 este 118 HV5. Comparând duritățile pentru tot materialul procesat ținând cont de geometria uneltei și tipul procesării, se observă că:

- la procesare FSP duritatea medie este 93 HV5 (Exp.3), 97 HV5 (Exp.4), 98 HV5 (Exp.5), reprezentând 79%, 82% și 83% din duritatea MB neprocesat.
- la procesare SFSP duritatea medie este 102 HV5 (Exp.3A), 104 HV5 (Exp.4A) și 105 HV5 (Exp.5A), reprezentând 86%, 88% și 89% din duritatea MB neprocesat

Tabelul 3 Aspect microstructuri și variație durițăi materiale procesate (CuZn37)

Exp.3 (FSP)	Exp.3A (SFSP)	Exp.4 (FSP)	Exp.4A (SFSP)	Exp.5 (FSP)	Exp.5A (SFSP)		
Unealta oțel H11, pin trunchi de piramidă		Unealta oțel H11, pin cilindric filetat		Unealta oțel H11, pin conic neted			
Aspect microscopic zona adiacentă spre material de bază							
							
Aspect microscopic zona procesată							
							
Variație durițăi HV5							
							
Durițăi		Exp.3-FSP	Exp.3A-SFSP	Exp.4-FSP	Exp.4A-SFSP	Exp.5-FSP	Exp.5A-SFSP
valoare medie durițate HV5	zona procesată efectiv (% din MB)	88 HV5 (74%)	95 HV5 (81%)	93 HV5 (79%)	100 HV5 (85%)	93 HV5 (79%)	99 HV5 (84%)
	zona spre MB (% din MB)	102 HV5 (86%)	115 HV5 (98%)	105 HV5 (89%)	110 HV5 (93%)	109 HV5 (92%)	114 HV5 (96%)
	tot materialul procesat (% din MB)	93 HV5 (79%)	102 HV5 (86%)	97 HV5 (82%)	104 HV5 (88%)	98 HV5 (83%)	105 HV5 (89%)
							

Se observă că durițate medie pentru întregul material procesat este mai mică decât a materialului de bază. Atât la procesarea FSP, cât și la SFSP, valorile medii ale durițăii pentru întregul material procesat sunt mai mari în cazul utilizării uneltei cu pin conic neted, iar cele mai mici s-au obținut în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă.

Prin suprapunerea graficelor de durițate pentru toate cele 6 experimente analizate se observă că cea mare durițate medie a întregului material procesat se obține în cazul procesării SFSP la Exp.5A (unealta cu pin conic neted), urmată de Exp.4A (unealtă cu pin cilindric filetat) și Exp.3A (unealtă cu pin trunchi de piramidă), apoi urmează în ordine descrescătoare procesarea FSP cu Exp.5 (unealta cu pin conic neted), urmată de Exp.4 (unealtă cu pin cilindric filetat) și Exp.3 (unealtă cu pin trunchi de piramidă).

Tabelul 4 prezintă aspectul microstructurii și variația durițăilor la probe prelevate din plăci de bronz CuSn6 procesate FSP (Exp.6, Exp.7) și SFSP (Exp.6A, Exp.7A) într-o trecere, cu unelte de procesare cu geometrii diferite (pin conic neted și pin trunchi de piramidă).

Tabelul 4 Aspect microstructuri și variație durității materiale procesate (CuSn6)

Exp.6 (FSP)		Exp.6A (SFSP)		Exp.7 (FSP)		Exp.7A (SFSP)	
Unealta P20S, pin conic neted				Unealta P20S, pin trunchi de piramidă			
Aspect microscopic zona adiacentă spre material de bază							
Aspect microscopic zona procesată							
Variație durități HV5							
Durități		Exp.6-FSP	Exp.6A-SFSP	Exp.7-FSP	Exp.7A-SFSP		
valoare medie duritate HV5	zona procesată efectiv (% din MB)	99 HV5 (57%)	99 HV5 (56%)	107 HV5 (60%)	104 HV5 (60%)		
	zona spre MB (% din MB)	171 HV5 (97%)	153 HV5 (87%)	171 HV5 (97%)	175 HV5 (100%)		
	tot materialul procesat (% din MB)	120 HV5 (69%)	122 HV5 (70%)	127 HV5 (73%)	128 HV5 (73%)		

Analiza microstructurală a probelor procesate FSP și SFSP arată că atât geometria uneltei, cât și mediul de procesare influențează semnificativ dimensiunea grăunților recristalizați în bronzul CuSn6. Pentru ambele geometrii de unelte utilizate, materialul poate atinge ușor domeniul de temperaturi caracteristic recristalizării ($\approx 300\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$), ceea ce duce la formarea de grăunți noi în zona procesată. În condițiile procesării FSP, încălzirea intensă și răcirea lentă permit creșterea acestor grăunți, rezultând o microstructură cu grăunți puțin mai mari decât cei din materialul de bază. Geometria uneltei are o influență suplimentară în acest sens: pinul trunchi de piramidă generează o amestecare mai energetică și o cantitate mai mare de căldură locală, favorizând creșterea grăunților după recristalizare, în timp ce pinul conic neted produce o deformare mai uniformă, dar tot insuficientă pentru a preveni creșterea grosieră a grăunților în absența unei răcirii rapide. La procesarea SFSP, independent de geometria uneltei, răcirea accelerată în apă limitează creșterea grăunților după recristalizarea dinamică, conducând la o microstructură mai fină decât în FSP. Totuși, deoarece materialul ajunge în continuare la temperaturi suficiente pentru formarea de grăunți noi, iar deformarea este intensă (mai ales la viteze de avans reduse), dimensiunea finală a grăunților rămâne ușor mai mare decât cea a materialului de bază. Astfel, SFSP produce o microstructură intermediară: mai fină și mai uniformă decât în FSP, dar încă puțin mai grosieră decât cea inițială a MB.

Duritatea materialului de bază CuSn6 este de 175 HV5. Comparând duritățile pentru tot materialul procesat ținând cont de geometria uneltei și tipul procesării, se observă că:

- la procesarea FSP duritatea medie este mai mare (127 HV5 la Exp.7 față de 120 HV5 la Exp.6) în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, reprezentând 73% și 69% din duritatea MB neprocesat.
- la procesarea SFSP duritatea medie este mai mare (128 HV5 la Exp.7A față de 122 HV5 la Exp.6A) în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, reprezentând 73% și 70% din duritatea MB neprocesat.

Se constată că în cazul uneltei cu pin trunchi de piramidă, duritatea este mai mare în ambele procesări FSP/SFSP, comparativ cu unealta cu pin conic neted.

Prin suprapunerea graficelor de duritate pentru toate cele 4 experimente analizate se observă că cea mai mare duritate medie a întregului material procesat este în cazul Exp.7A (unealtă cu pin trunchi de piramidă) urmată de valoarea de la Exp.7, respectiv de valorile pentru Exp.6A și Exp.6 (unealtă cu pin conic neted).

Analizarea rezultatelor pozitive obținute la procesarea celor trei materiale abordate (14 experimente realizate, însemnând 14 specificații preliminare de procesare SFSP și FSP într-o trecere) a dus la elaborarea de specificații tehnologice de procesare. În această primă parte a fazei 7 s-au elaborat 3 specificații de procesare SFSP (pentru Exp. 1A, Exp. 5A, Exp.7A), urmând ca în etapa/etapele următoare aferente fazei 7 să fie elaborate și celelalte specificații tehnologice pentru materialele procesate SFSP, dar și FSP.

Capitolul trei prezintă date privind structurarea programului experimental complex de procesare SFSP pentru alamă, pornind de la rezultatele experimentărilor de procesare SFSP într-o trecere. Sunt prezentate date privind materialul de procesat, unelte de procesare posibil de utilizat și unelte propuse pentru utilizare în programul de cercetări experimentale (tabelul 5). S-a conceput structura programului experimental complex de procesare SFSP pentru alamă CuZn37 în diferite condiții de procesare din punct de vedere al uneltelor și parametrilor de procesare (tabelul 6), precum și un plan de verificare a materialelor procesate. Capitolul cuprinde și 3 specificații preliminare pentru procesarea SFSP a tablelor din alamă.

Tabelul 5 Unelte propuse - program experimental complex de procesare SFSP CuZn37

Exp.1AC		Exp.2AC		Exp.3AC	
Unealta pin trunchi piramidă, $L_{pin}=2,80-3,00$ mm Material oțel X38CrMoV5/C45		Unealta pin cilindric filetat, $L_{pin}=2,80-3,00$ mm Material oțel X38CrMoV5/C45		Unealta pin conic neted $L_{pin}=2,80-3,00$ mm Material oțel X38CrMoV5/C45	

Tabelul 6 Schema program experimental complex procesare SFSP alamă CuZn37

Nr. exp.	Materiale de bază (grosime, mm)	Unealta procesare				Parametri procesare				Tip procesare	
		Material unealtă	Tip/diametru umăr $\varnothing_{umăr}$ (mm)	Tip pin	Lungime pin L_{pin} (mm)	Turație unealta (rot/min)	Viteză procesare (mm/min)	Sens rotire unealtă	Nr. treceri procesare, pas (mm)		
1AC	CuZn37 (4mm)	H11/C45	Umăr neted, diametru 22mm	trunchi de piramida	2,80-3,00	2250-2300	150-155	AO	5 treceri		SFSP
2AC		H11/C45		cilindric filetat	2,80-3,00	2250-2300	150-155	AO	5 treceri		SFSP
3AC		H11/C45		conic neted	2,80-3,00	2200-2500	120-130	AO	5 treceri		SFSP

Planul propus pentru evaluarea și caracterizarea materialelor procesate, va cuprinde mai întâi examinare vizuală și cu radiații penetrante a materialelor procesate SFSP și FSP

Acestea vor fi urmate ulterior de analize structurale, măsurători de duritate și încercări mecanice (rupere la tracțiune și încercări de îndoire statică), respectiv o analiză a rezultatelor obținute pentru materialele procesate SFSP/FSP, comparativ cu materialele de bază. Această evaluare complexă a materialelor procesate se va realiza în partea/părțile următoare ale fazei 7 utilizând diferite echipamente din dotarea ISIM, unele dintre acestea fiind noi și performante, achiziționate de ISIM în cadrul proiectului INFRATECH "Infrastructure for excellence research in welding", Cod SMIS 2014+126084 (contract 360/390036/27.09.2021).

Capitolul patru prezintă date privind prima parte din programul de cercetări experimentale complexe de procesare SFSP în treceri multiple pentru alamă CuZn37 (4mm grosime), realizat pe mașina de sudare FSW 4-10 din dotarea ISIM Timișoara, echipată cu un modul pentru procesare în mediu lichid. Experimentările complexe de procesare s-au realizat în mediu lichid (sub apă), utilizând unelte cu geometrii variate, cu lungimi ale pinului uneltei și combinații de parametri de proces prezentate în tabelul 6, care țin cont de grosimea materialelor de procesat și de mediul de lucru în care are loc procesarea. Aspectul plăcilor procesate SFSP din alamă, precum și examinarea cu radiații penetrante a acestora sunt prezentate în fig. 1.

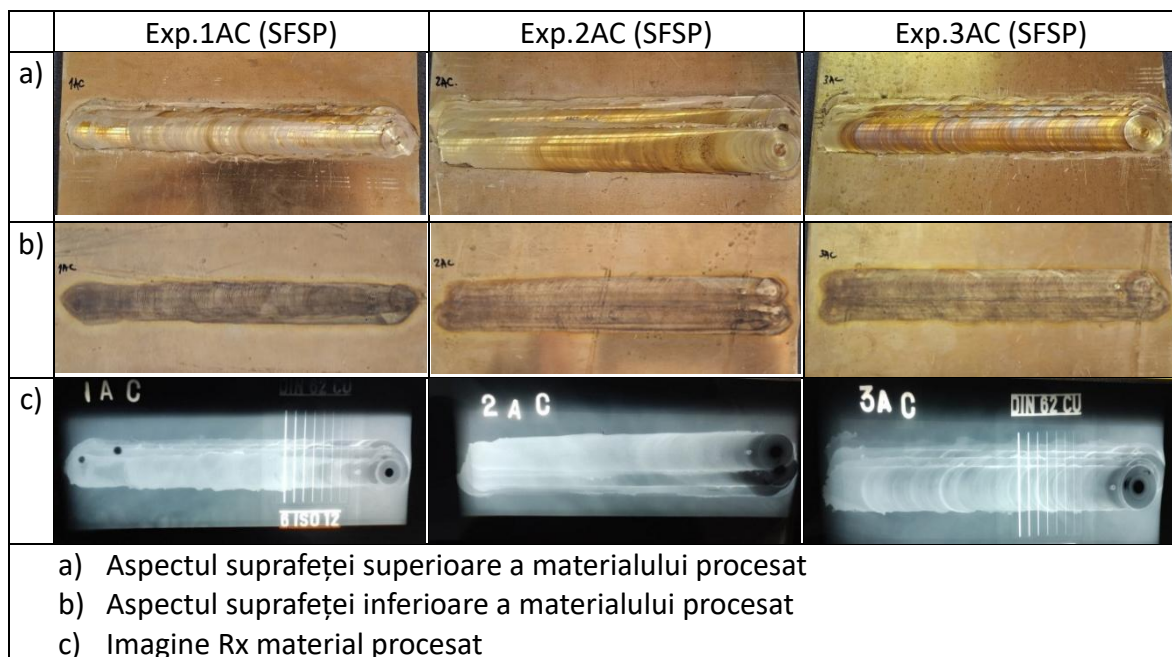


Fig. 1 Aspect plăci din alamă CuZn37, procesate SFSP și imagine Rx a acestora

Din fig.1 se observă că aspectul la suprafața materialului procesat este uniform în condițiile unui proces de lucru stabil, la care contactul între umărul uneltei și suprafața materialului de procesat este ferm și pe toată suprafața umărului. Aspectul zonei procesate pe partea inferioară a materialului este în corelare cu cel al suprafeței superioare, fiind uniform, cu amprentă vizibilă și constantă, arătând un contact foarte bun al umărului uneltei cu materialul de procesat. Examinarea Rx arată zone procesate fără defecte, proces de lucru stabil.

Programul experimental de procesare în treceri multiple va continua în partea/părțile viitoare ale fazei 7, cu procesare în mediu ambiant pentru alamă CuZn37, cu procesare SFSP și FSP pentru bronz CuSn6 și pentru Cu-DHP, precum și cu evaluarea complexă a tuturor probelor procesate în vederea elaborării de tehnologii de procesare.

Capitolul cinci prezintă date privind activitățile de diseminare și de promovare a proiectului și a domeniului FSW/FSP, în concordanță acțiunile/direcțiile din planul de diseminare și exploatare a rezultatelor. Sunt prezentate date privind: actualizare website proiect (D1), lucrare științifică elaborată în cadrul fazei 7/partea I (D2), materiale de promovare și promovare proiect cu diferite ocazii/evenimente tehnico-științifice (D3), posibilități de participare la târguri/expoziții/saloane de invenții/inventică și cercetare (D4), echipamente, produse și tehnologii (D5), precum și demonstratorul pentru procesare (D6) cu rol de prezentare a tehnicii și a modului de lucru, rezultate obținute, evidențiere a potențialului oferit de domeniul FSW/FSP.

D1 - Pagina web a proiectului - s-a realizat o actualizare a paginii web a proiectului PN 23.37.01.02, cu informații aferente fazei, disponibilă accesând <https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-02>. Astfel se contribuie la completarea primului punct din planul de diseminare și valorificare a rezultatelor obținute în cadrul proiectului. Acesta are ca scop cunoașterea activităților și a rezultatelor obținute, fiind conturat de la începutul proiectului, prin promovarea pe website-ul ISIM a prezentului proiect. Pe website se prezintă informații care sunt actualizate la finalizarea fiecărei faze a proiectului (perioada de derulare a fazei, stadiul realizării proiectului, obiectivele propuse și rezultatele obținute în cadrul fiecărei faze).

D2. Articole/lucrări științifice. A doua acțiune din planul de diseminare și valorificare a rezultatelor are ca scop elaborarea de lucrări științifice pentru prezentare la manifestări științifice, respectiv publicare în reviste/publicații de specialitate cu scopul cunoașterii procesării SFSP/FSP de către mediul științific, academic și industrial, și creșterii vizibilității la nivel național și internațional a activităților de cercetare derulate.

Astfel, în cadrul fazei 7 (partea I) a proiectului este în curs de finalizare o lucrare științifică pentru prezentare la The 33rd International Welding Conference, care va avea loc la Budapesta, Ungaria, în perioada 18-19.06.2026. Rezumatul lucrării a fost acceptat pentru conferință, lucrarea fiind cuprinsă în programul conferinței (L.N. Boțilă, A.C. Murariu, I.A. Perianu, I. Duma, R.N. Popescu, A.O.D. Raia și C. Valușescu "Effects of single-pass submerged friction stir processing on the structure and mechanical properties of CuZn37 brass", aprobată pentru prezentare la The 33rd International Welding Conference, care va avea loc la Budapesta, Ungaria, între 18-19.06.2026).

D3. Materiale de promovare Diseminarea rezultatelor și promovarea proiectului se realizează atât în format letric, cât și electronic/online, prin lucrări științifice care se publică în reviste de specialitate și în volume de lucrări la conferințe, prin materiale de promovare tip flyer, postere/roll-up-uri, materiale video demonstrative, prezentări, rapoarte cu rezultatele proiectului. De asemenea, prin intermediul website-ului proiectului, este accesibilă online o cantitate importantă de informații privind proiectul și rezultatele obținute în cadrul fiecărei faze. Cu ocazia prezentării și promovării proiectului și a domeniului FSW, printr-o activitate tip workshop, către specialiști din industrie participanți la curs IWE la sediul ISIM, au fost distribuite spre completare chestionare privind domeniul FSW, primindu-se 8 chestionare completate.

D4. Participare la târguri/expoziții, saloane ale cercetării, acțiuni de promovare a proiectului Nucleu și a cercetărilor în domeniul FSW

Participare la Saloane de Invenții

- Se va participa cu 3 cereri de brevet de invenție la 7th International Exhibition INVENTCOR 2026 care se va derula la Deva, 2-4.04.2026, (fig.2)

- Lia-Nicoleta Boțilă - "Unealtă modulară pentru sudare și procesare prin frecare cu element activ rotitor"/ "Modular tool for friction stir welding and processing", Cerere de brevet de invenție, Nr. înreg. OSIM A/00557/12.09.2022, publicată în RO-BOPI 3/2024 cu nr. RO 138013 A2.
- Lia-Nicoleta Boțilă, Ion-Aurel Perianu – „Modul suport multifuncțional pentru materiale de îmbinat și de procesat prin frecare cu element activ rotitor” / “Multifunctional support module for materials to be joined and processed by friction stir”, Cerere de brevet de invenție, Nr. înreg. OSIM A/00819/08.12.2023, publicată în RO-BOPI 9/2025 cu nr. RO 139104 A2.
- Lia-Nicoleta Boțilă, Alin-Constantin Murariu - "Sistem adaptiv de monitorizare și control termic al proceselor de sudare și procesare prin frecare cu element activ rotitor" / "Adaptive thermal monitoring and control system for friction stir welding and processing", Cerere de brevet de invenție, Nr. înreg. OSIM A/00873/27.12.2023, publicată în RO-BOPI 3/2024 cu nr. RO 138992 A2.



Fig. 2 Propuneri postere pentru participare la INVENTCOR 2026

Actiuni de promovare proiect Nucleu și cercetări în domeniul FSW

În această etapă a proiectului s-au realizat acțiuni de promovare a proiectului Nucleu și cercetărilor în domeniul FSW/FSP:

- Promovare proiect și domeniu FSW/FSP, activitati tip workshop, transfer de cunoștințe—cursanți IWE din industrie la ISIM Timisoara, 26-27.01.2026 (fig.3, fig.4)
 - activitate tip workshop, prezentare ppt privind proiectul, prezentare materiale foto-video privind sudarea și procesarea în diferite medii de lucru, pentru aliaje de aluminiu, într-o trecere/treceri multiple, diseminare, transfer de cunoștințe către mediul industrial
 - prezentare practică în laborator FSW: principiu procedee, echipamente/tehnică de lucru pentru sudare FSW/procesare FSP în diferite medii de lucru, unelte, secvențe de lucru, prezentare mostre de materiale sudate și procesate, aspecte practice și particularități privind sudarea și procesarea prin frecare cu element activ rotitor în diferite medii de lucru,
 - distribuire materiale de promovare (flyere) și chestionare pentru industrie

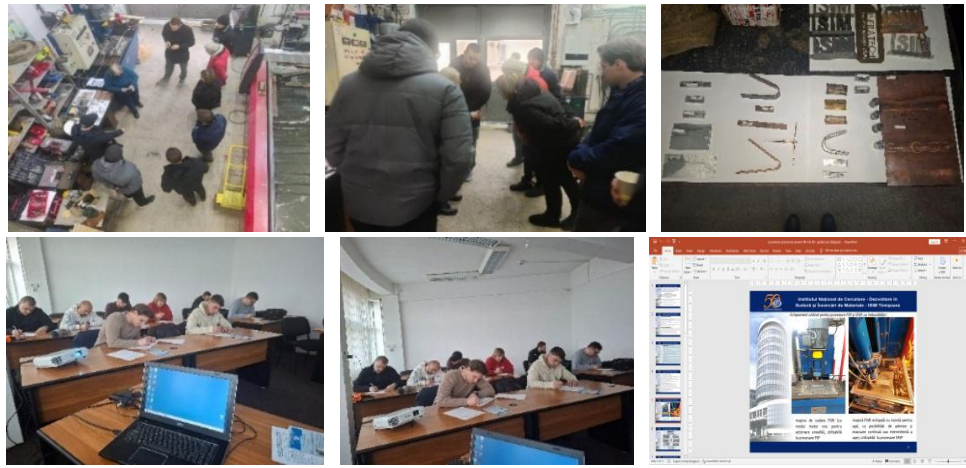


Fig.3 Promovare proiect și domeniu FSW/FSP, workshop, transfer cunoștințe – cursanți IWE la ISIM Timisoara, 26-27.01.2026



Fig. 4 Promovare proiect, domeniu FSW/FSP (ppt) la activitate tip workshop, prezentare proiect, rezultate, transfer cunoștințe-cursanți IWE din industrie, 26-7.01.2026, ISIM

❖ Promovare proiect și domeniu FSW/FSP – Ziua Porților Deschise la ISIM Timisoara, 05.02.2026 (fig.5)

- prezentare practică în laborator FSW: principiu procedee, echipamente, unelte, mostre de materiale sudate /procesate, aspecte practice și particularități privind sudarea/ procesarea prin frecare cu element activ rotitor în diferite medii de lucru
- demonstrații practice de procesare SFSP în treceri multiple la alamă



Fig.5 Promovare proiect/domeniu FSW/FSP – Ziua Porților Deschise la ISIM, 05.02.2026

○ Promovare proiect și domeniu FSW/FSP către grup studenți-vizită în laboratoarele ISIM, 24.02.2026

- prezentare domeniu FSW/FSP, activități de cercetare în domeniu
- prezentare mostre sudate/procesate, echipament și tehnică de lucru pentru sudare FSW/procesare FSP în diferite medii de lucru, unelte de procesare, secvențe de lucru (poziționare /fixare material, uneltă, operare mașină, monitorizare proces, extragere/analiză material sudat/procesat)

D5. Echipamente, produse și tehnologii

Acest punct din planul de diseminare vizează echipamentele, uneltele și tehnologiile utilizate la procesare SFSP/FSP din perspectiva includerii lor în lucrări științifice și materiale de promovare ale proiectului (flyere, postere, roll-up-uri, prezentări, etc.).

Mașina de sudare FSW 4-10 de la ISIM, modernizată în fazele anterioare ale proiectului, este utilizată pentru programe de cercetare experimentală SFSP/FSP și reprezintă elementul central al activităților experimentale FSW/FSP. Date și imagini privind mașina sunt incluse constant în lucrări științifice, materiale de promovare, postări și rapoarte de pe pagina web, precum și în prezentări la conferințe, asigurând vizibilitatea acestora în mediul științific, academic și industrial. Mașina este prezentată și ca demonstrator în cadrul vizitelor (delegații din diferite instituții, participanți la cursuri organizate de ISIM, vizite ale studenților, etc.) în laboratorul FSW.

Uneltele de procesare, adaptate în funcție de material, geometrie și grosime, sunt esențiale în programele experimentale. Date și imagini despre acestea sunt incluse în lucrări științifice, prezentări și rapoarte, contribuind la vizibilitatea lor în mediul tehnico-științific. De asemenea, diferite tipuri de unelte sunt prezentate vizitatorilor laboratoarelor ISIM în cadrul evenimentelor și activităților educaționale.

➤ Tehnologii de procesare

În cadrul proiectului se realizează cercetări experimentale de procesare pentru a putea dezvolta tehnologii de procesare prin care să se poată modifica local, pe zone limitate, proprietățile materialului procesat. Analizarea rezultatelor pozitive obținute la procesarea celor trei materiale abordate (14 experimente realizate, cu specificații preliminare de procesare SFSP și FSP într-o trecere, aferente) a dus la elaborarea de specificații tehnologice de procesare. În această primă parte a fazei 7 s-au elaborat 3 specificații de procesare SFSP într-o trecere (pentru Exp.1A, Exp.5A, Exp.7A), urmând ca în etapa/etapele următoare aferente fazei 7 să fie elaborate și celelalte specificații tehnologice pentru materialele procesate SFSP, dar și FSP într-o trecere.

Pe baza rezultatelor obținute la programul experimental preliminar de procesare, în cadrul Fazei 7 (partea I) s-a demarat parțial programul de cercetări experimentale de procesare prin frecare cu element activ rotitor sub apă SFSP în treceri multiple pentru table de alamă CuZn37. Programul experimental va continua în etapa/etapele următoare aferente fazei 7, cu cercetări experimentale de procesare SFSP în treceri multiple pentru bronz CuSn6 și cupru Cu-DHP, respectiv procesare FSP în treceri multiple pentru materialele abordate (alamă, bronz și cupru) în vederea dezvoltării de tehnologii de procesare SFSP și FSP pentru acestea. Date experimentale de la cercetările preliminare/complexe de procesare într-o trecere și în treceri multiple vor fi cuprinse în lucrări științifice pentru conferințe sau pentru reviste de specialitate, respectiv cu rol informativ, în rapoarte de activitate de pe pagina web. Se asigură astfel vizibilitatea unor informații și rezultate obținute în cadrul proiectului privind procesarea sub apă și în mediu ambiant a cuprului Cu-DHP, alamei CuZn37 și bronzului CuSn6.

D6. Demonstrator tehnologic

Mașina de sudare FSW 4-10 din dotarea ISIM este utilizată în proiect pentru elaborarea programelor de cercetare experimentală privind procesarea SFSP/FSP. Totodată, aceasta servește ca demonstrator pentru sudarea/procesarea prin frecare cu element activ rotitor, fiind prezentată delegaților din industrie și mediul academic, participanților la cursuri ISIM, grupurilor de studenți aflați în vizită sau practică, etc. Cu aceste ocazii sunt prezentate mașina și modulele sale, procedeele aplicabile, principiile de funcționare, uneltele utilizate, rezultatele obținute și mostre de materiale îmbinate/procesate. După caz, se realizează și demonstrații practice, cu scopul evidențierii procedeele ecologice de îmbinare și procesare, a avantajelor lor și a posibilităților de aplicare pentru diverse materiale metalice. În cadrul diferitelor faze ale proiectului, inclusiv în cea actuală, la capitolul de diseminare sunt incluse imagini din timpul vizitelor și demonstrațiilor de sudare/procesare desfășurate în laboratorul FSW.

Capitolul 6 cuprinde concluziile bazate pe rezultatele obținute în faza actuală.

- A fost prezentat stadiul actual al lucrărilor desfășurate în cadrul proiectului, fiind prezentate pe scurt: tematica, scopul și obiectivele proiectului, precum și principalele activități realizate în cadrul fazelor 1-6 ale proiectului.
- S-au prezentat date privind continuarea evaluării materialelor procesate într-o trecere, prin realizarea de analize la nivel microstructural și măsurători de duritate ale probelor procesate SFSP și FSP analizate, precum și analize comparative ale acestora în funcție de tipul procesării (FSP/SFSP) și al uneltelor de procesare utilizate
- Evaluarea complexă/integrată a probelor și epruvetelor prelevate din materialele procesate (examinare vizuală și Rx, analize macro și microscopice, măsurători de duritate, încercări la tracțiune și îndoire) arată că se pot obține rezultate pozitive la procesarea FSP/SFSP într-o trecere a materialelor abordate. S-au realizat analize comparative din punct de vedere al rezultatelor obținute pentru materialul procesat în funcție de tipul uneltelor utilizate și analize comparative cu materialul de bază pentru fiecare material abordat (Cu-DHP, CuZn37, CuSn6).
- S-a structurat programul experimental complex de procesare SFSP pentru alamă, pornind de la rezultatele experimentărilor de procesare SFSP într-o trecere. Sunt prezentate date privind materialul de procesat, unelte de procesare posibil de utilizat și unelte utilizate în programul de cercetări experimentale. S-a conceput structura programului experimental complex de procesare SFSP pentru alamă CuZn37 (în diferite condiții de procesare din punct de vedere al mediului de lucru, uneltelor și parametrilor de procesare), precum și un plan de verificare a materialelor procesate. S-au elaborat și specificații preliminare pentru procesarea SFSP a tablelor din alamă.
- S-a derulat parțial programul experimental complex de cercetări de procesare SFSP în treceri multiple a tablelor de alamă CuZn37 de grosime 4mm și anume, fiind prezentate date privind: material de procesat, tipuri/geometrii și dimensiuni de unelte utilizate pentru experimentări, parametri de proces, condiții de procesare, rezultate parțiale obținute la evaluarea materialelor procesate (analiză vizuală și examinare Rx).
- În etapa/etapele următoare aferente fazei 7 va continua derularea programului complex de cercetări experimentale de procesare în treceri multiple pentru Cu-DHP, CuZn37 și CuSn6, precum și evaluarea materialelor procesate în vederea dezvoltării de tehnologii de procesare pentru materialele abordate.
- S-au realizat activități de diseminare în corelare cu punctele D1-D6-plan de diseminare.

Rezultate, stadiul realizării obiectivului fazei, concluzii și propuneri pentru continuarea proiectului (se vor preciza stadiul de implementare a proiectului, gradul de îndeplinire a obiectivului cu referire la tinte stabilite și indicatorii asociați pentru monitorizare și evaluare).

Stadiul de implementare a proiectului: S-a finalizat partea 1 a fazei 7 "Program experimental complex privind aplicarea SFSP la cupru/aliaje de cupru în vederea dezvoltării de tehnologii de procesare SFSP. Diseminare rezultate" a proiectului Nucleu PN 23 37 01 02. Se poate concluziona că:

- S-a realizat evaluarea complexă a materialelor (cupru Cu-DHP de grosime 2,5mm; alamă CuZn37 de grosime 4mm și bronz CuSn6 de grosime 4mm) procesate FSP și SFSP într-o trecere, cu comparații ale rezultatelor obținute pentru fiecare material în funcție de uneltele de procesare utilizate.
- S-au elaborat (în faza 7 partea I) trei specificații tehnologice de procesare SFSP într-o trecere (tehnologii experimentale) pentru Cu-DHP, alamă CuZn37 și bronz CuSn6, pe baza rezultatelor obținute și a specificațiilor preliminare de procesare SFSP și FSP într-o trecere (total 14 specificații preliminare) elaborate pentru materialele abordate, iar în etapa/etapele următoare aferente fazei 7 se va continua analiza rezultatelor obținute pentru a fi elaborate și alte specificații tehnologice de procesare SFSP și FSP într-o trecere pentru aceste materiale.
- S-a structurat programul experimental de procesare SFSP în treceri multiple și planul de evaluare a materialelor procesate, pentru alamă CuZn37 de grosime 4mm, fiind prezentate tabelar condițiile și parametri de procesare. Au fost prezentate date privind materiale și unelte de procesare, structura programului de experimentări de procesare și parametri de proces. S-au elaborat 3 specificații preliminare de procesare SFSP în treceri multiple pentru alamă CuZn37.
- S-a realizat o primă parte din programul experimental complex de procesare SFSP în treceri multiple pentru alamă CuZn37, utilizând 3 tipuri de unelte de procesare, fiind prezentate informații privind aspectul suprafețelor procesate și rezultatul examinării cu radiații penetrante pentru fiecare placă de material procesat.
- Programul de cercetări experimentale de procesare în treceri multiple va continua în etapa/etapele următoare ale fazei 7 cu procesare FSP pentru alamă CuZn37, procesare FSP și SFSP pentru bronz CuSn6 și cupru Cu-DHP, respectiv cu programul de evaluare complexă (analiză vizuală, examinare cu radiații penetrante Rx, analize structurale, încercări mecanice de rupere la tracțiune și îndoire) a probelor/epruvetelor care se vor preleva din materialele procesate. Rezultatele cercetărilor experimentale complexe vor sta la baza elaborării de specificații tehnologice de procesare (tehnologii experimentale de procesare) SFSP/FSP în treceri multiple pentru materialele abordate.
- Diseminarea de informații privind rezultatele obținute în cadrul acestei faze a proiectului, precum și promovare proiectului, s-a realizat prin:
 - D1 - actualizarea paginii web a proiectului Nucleu (<https://www.isim.ro/ro/cercetare-dezvoltare/programul-nucleu/programul-nucleu-pn-23-37-2023-2026/pn23-37-01-02>);
 - D2 - 1 lucrare științifică (în curs de finalizare) aprobată pentru prezentare la o conferință internațională

- D3 materiale de promovare:
 - 1 prezentare ppt privind proiectul la eveniment tip workshop, pentru mediul industrial, universitar/științific
 - chestionare în domeniul FSW/FSP distribuite specialiștilor din industrie la curs IWE organizat de ISIM, care au participat și la prezentarea tip workshop privind proiectul PN 23370102, 8 chestionare fiind completate
- D4 - participare la evenimente din categoria saloane invenții, târguri/expoziții:
 - se va participa cu 3 cereri de brevet de invenție la 7th International Exhibition INVENTCOR 2026 care se va organiza la Deva între 2-4.04.2026,
- D4 - 3 acțiuni de promovare proiect și domeniu FSW/FSP /procedee derivate:
 - promovare proiect/domeniu FSW/FSP și activitate tip workshop – cursanti IWE din industrie la ISIM Timisoara, 26-27.01.2026
 - promovare proiect și domeniu FSW/FSP la Ziua Porților deschise, organizată la ISIM în 5.02.2026
 - promovare proiect și domeniu FSW/FSP către grup studenți-vizită în laboratoarele ISIM, 24.02.2026
- D5 - promovare mașină de sudare cu performanțe îmbunătățite, unelte și tehnologii de procesare prin lucrări științifice la conferințe/publicate în reviste de specialitate, respectiv informativ în rapoarte de activitate de pe website.
- D6 – demonstrator tehnologic de procesare FSP/SFSP cu mașina FSW

Obiectivele fazei 7 (partea I) au fost îndeplinite, toate rezultatele obținute în cadrul acestei faze a proiectului fiind cuprinse în raportul de cercetare aferent fazei, respectiv prezentate sintetic în Raportul de activitate aferent fazei 7 (partea I) a proiectului.

Activitățile prevăzute pentru faza 7 (partea I) a proiectului au fost realizate, iar rezultatele obținute sunt în concordanță cu cele prezentate la pct. 3 și 4 și cu obiectivele prezentate la pct. 1 din prezentul raport de activitate și constau în:

- R7 - specificații materiale de procesat (3 buc.)
- R8 - specificații preliminare de procesare FSP/SFSP (17 buc.)
- R9 - specificații tehnologice de procesare SFSP în mediu lichid, într-o trecere (tehnologii experimentale de procesare) pentru Cu-DHP, CuZn37 și CuSn6 (3 buc)
- R10 - rapoarte de analize, încercări pentru materiale procesate (3 buc.);
- R11 - website proiect actualizat și upload rezultate faza 7 partea I (1 buc.)
- R13 - materiale/activități de promovare proiect:
 - prezentare ppt privind proiectul la evenimente tehnico-științifice (1 buc.)
 - chestionare completate (8 buc.) din mediul industrial privind cunoașterea domeniului FSW și interesul pentru implementarea în activități specifice
 - promovare proiect, domeniu FSW/FSP la 3 evenimente/activități organizate la ISIM
- R16 - raport de cercetare (1 buc.) și raport de activitate (1 buc.) cu rezultatele cercetării aferente fazei 7 (partea I).

Lucrările proiectului vor continua cu partea a doua a fazei 7 a proiectului, cu titlul "Program experimental complex privind aplicarea SFSP la cupru/aliaje de cupru în vederea dezvoltării de tehnologii de procesare SFSP. Diseminare rezultate"

Responsabil proiect,
Ing. Boțilă Lia-Nicoleta