

# BRAZAREA ALIAJELOR CU ENTROPIE RIDICATA

PREOTEASA Adela - Diana, RADU Adriana - Valentina

Facultatea: Transporturi, Specializarea: Ingineria Transporturilor și a Traficului, Anul de studii: I, e-mail: valentina.radu21@yahoo.com

Conducător științific: Prof.dr.ing **Ionelia VOICULESCU**

*REZUMAT: In cadrul lucrării se prezintă câteva rezultate obținute la brazarea unor aliaje cu entropie ridicată utilizând ca material de adaos baghete învelite din aliaj Cu-Ag. Pentru evidențierea aspectelor microstructurale a fost analizată zona brazată prin microscopie optică apoi s-au efectuat măsurări de microduritate. Unele probe au fost tratate termic înainte de brazare (omogenizare cu menținere la 1100°C timp de 4 ore, stabilizare la 900°C timp de 4 ore, stabilizare la 700 °C 2 ore și răcire în apă). S-a constatat ca ambele aliaje s-au comportat bine la brazare, aliajul de adaos fiind aderent și manifestând o umectare bună a suprafețelor.*

*CUVINTE CHEIE: brazare, lipire, HEA, entropie*

## 1. Introducere

Aliajele cu entropie ridicată sunt compuse din 5 elemente chimice principale, introduse în rapoarte echi-molare sau aproape echi-molare, care formează faze stabile de tip soluții solide simple cu rețea c.f.c. sau c.v.c. Acestea au rezistență mecanică ridicată, bună stabilitate termică, și capacitate de călire mai mare decât aliajele clasice, combinate cu o rezistență superioară în condiții de mediu diverse, ductilitate și tenacitate bune. Obiectivul lucrării este acela de a evidenția aceste caracteristici speciale ale materialului, în urma efectuării procedurii de îmbinare numit brazare.

## 2. Stadiul actual

### 2.1. Aliaje cu entropie ridicată

Aliajele cu entropie ridicată au caracteristici superioare față de multe alte tipuri de oțeluri sau aliaje speciale, având și avantajul că posedă în același timp valori ridicate ale ductilității, ceea ce le face aplicabile în diverse domenii în care aceste caracteristici sunt strict necesare, cum ar fi blindajele pentru protecție personal sau obiective strategice.

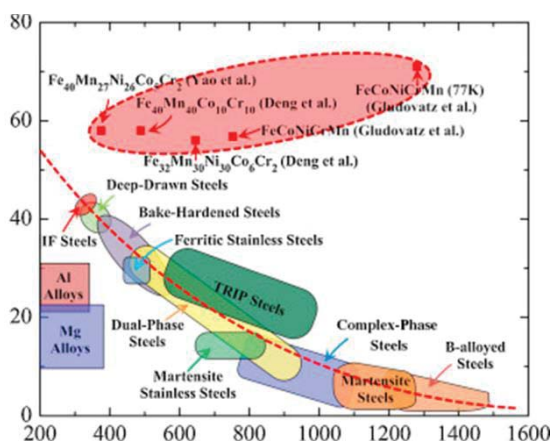


Fig.1 Dependenta Rezistenței Mecanice de Alungire

## 2.2. Aplicații ale aliajelor cu entropie ridicată în domeniul militar– panouri de protecție din domeniul militar

Acest experiment a fost făcut cu ajutorul unor casete balistice având în componența lor o placă din aluminiu, una din ceramica, urmând apoi placa de HEA 5, înaintea căreia este o altă placă din aluminiu care întregiște caseta. Acesteia i-a fost testată comportarea la impactul dinamic într-un tunel balistic.

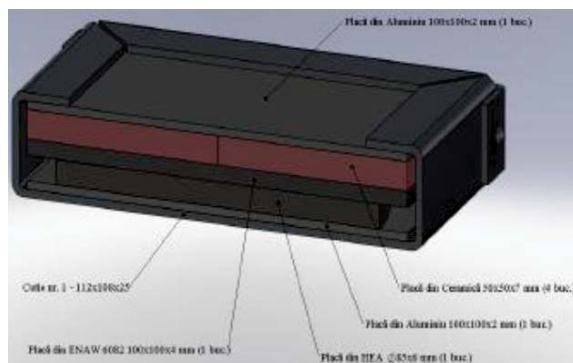


Fig.2 Componența casetei balistice

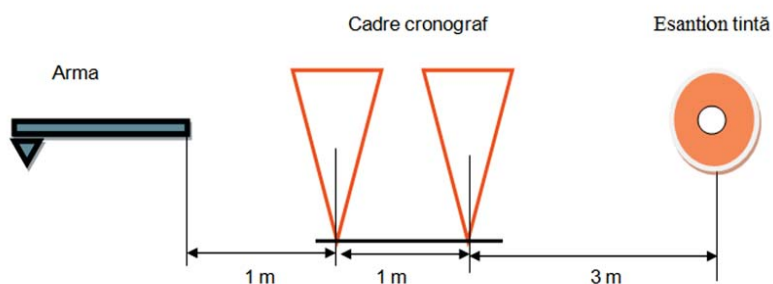


Fig.3 Schema tunelului balistic



Fig.4 Plăci din aliaje metalice speciale dispuse în zonele critice ale vehiculelor blindate pentru protecția militarilor, a rezervorului de carburant și a muniției. Îmbinarea plăcilor se poate realiza prin lipire (brazare), sudare sau nituire.

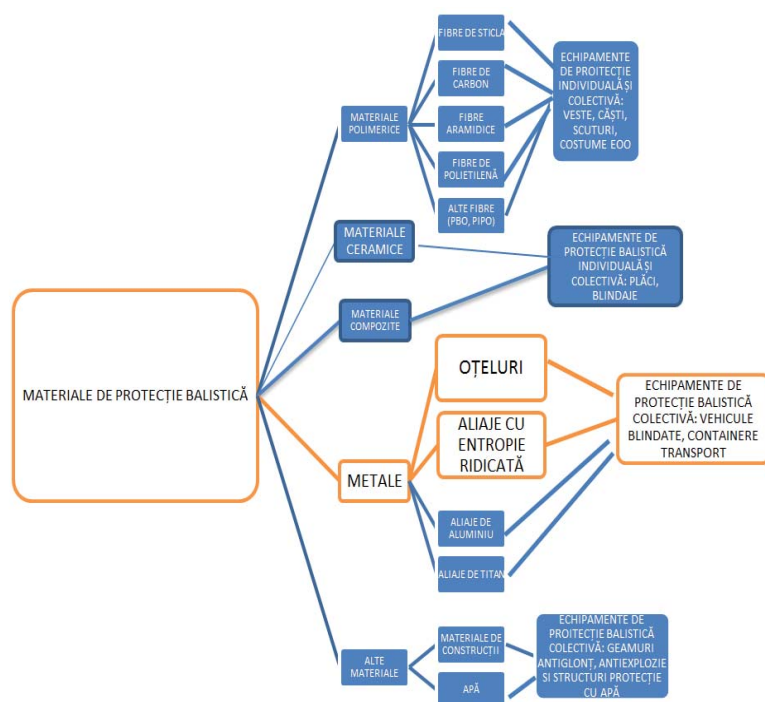


Fig.5 Tipuri de materiale pentru protecție balistică

În ultimul timp aliajele cu entropie ridicată sunt studiate pentru a fi utilizate pentru aplicații militare, deși costurile de obținere și prelucrare sunt încă destul de ridicate.

Simultan cu aceste cercetări se desfășoară și teste pentru stabilirea celor mai bune metode de îmbinare a plăcilor HEA pe structura existentă a unor dispozitive sau vehicule militare.

### Condiții de protecție balistică

Prima categorie de muniție include cartușele calibrul 7,62 mm cu glonț perforant incendiar. Masa gloanțelor este de 10 - 11 g și viteza inițială de 840 - 880 m/s. Acestea sunt folosite împotriva persoanelor protejate de veste antiglonț sau de blindajele relativ subțiri ale mașinilor militare de transport trupe și ale mașinilor civile de transport valori. Armele care utilizează aceste muniții sunt mitralierele ușoare și puștile semiautomate cu lunetă. Puterea de perforare a acestor gloanțe este de 12 -14 mm grosime de blindaj din oțel, ceea ce corespunde la o densitate de suprafață de 90-110 kg/m<sup>2</sup>.

A doua categorie include cartușele calibrul 12,7 mm și 14,5 mm cu glonț perforant. Masa gloanțelor este de 30-40 g și viteza de 900-1200 m/s. Acestea sunt folosite împotriva mașinilor blindate ușoare și au capacitatea de a perfora inclusiv blindajele frontale care depășesc, de regulă, grosimea de 15 mm. Armele care utilizează aceste muniții intră în categoria mitralierelor grele și se află de multe ori montate pe mașini blindate ușoare și tancuri.

Dintre toate variantele analizate se reține construcția bimetalică sudată prin explozie sau lipită prin brazare, care formează un bloc unitar și care asigură cea mai bună protecție balistică [1].

## 2.3. Modelarea comportării la impact cu proiectil perforant

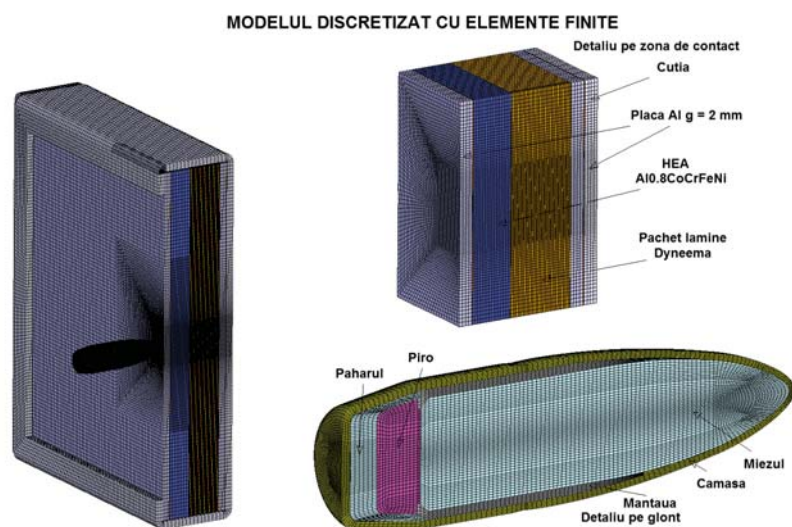


Fig.4 Model discretizat cu elemente finite

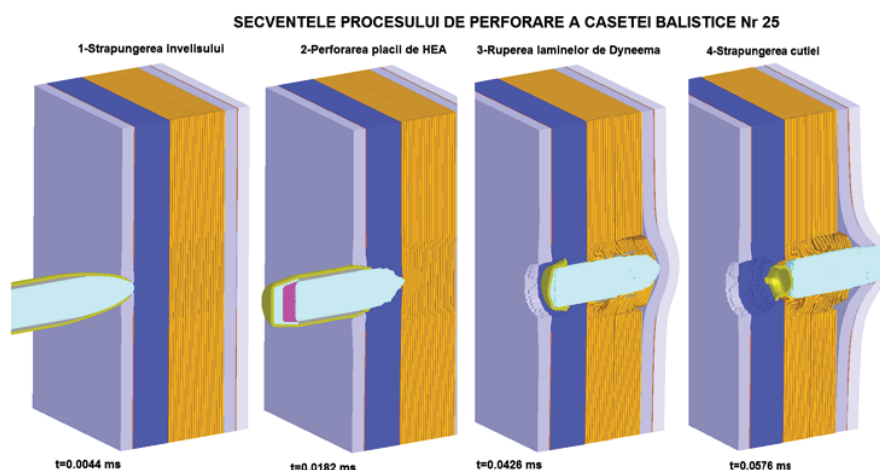


Fig.5 Secvențele procesului de perforare a casetei balistice nr.25

## 2.4. Efectul tratamentelor termice asupra proprietăților mecanice

Prin aplicarea tratamentelor termice duritatea aliajului HEA5 se modifică astfel:

- în stare de elaborare/turnare duritatea medie este 45 HRC;
- în urma aplicării tratamentului de omogenizare TT1 (1100°C/4ore cu răcire in aer) duritatea a scăzut la circa 20 HRC, fiind comparativă cu valoarea durității unui oțel structural;
- prin aplicarea tratamentului TT2 (stabilizare 900°C/4 ore + 700°C/2 ore cu răcire în apă) duritatea a crescut la 31 HRC apoi a scăzut la 27 HRC.

Aceasta variație a durității s-a datorat dizolvării compușilor duri formați la turnare.

Efectul tratamentului termic TT2 s-a manifestat prin creșterea plasticității materialului, deși duritatea s-a redus la aproape 27 HRC după ultima tranșă de tratament.

**Tabelul 1. PROPRIETĂȚI ALE ALIAJELOR CU ENTROPIE RIDICĂȚĂ de tip AlCrFeCoNi**

Aliaj			Duritate HRC (Rockwell)	Media

	Tratament termic	Poziția amprentelor de duritate	1	2	3	4	5	6	[HRC]
Al <sub>0.8</sub> CrFeCoNi	Fără tratament termic	Proba 1.1	44	48.7	46.4	47.6	48.3	-	47
		Proba 1.2	46.4	47.5	42.7	43.8	46.3	-	45.3
	Omogenizare (1100°C)	Fața sup.	10.9	17.0	25.6	16.8	24.2	-	18.9
		Fața inf.	21.9	26.6	22.6	25.1	28.1	-	24.9
	Stabilizare (900°C)	Fața sup.	18.2	31.0	28.7	36.3	31.3	-	29.1
		Fața inf.	30.3	34.0	33.7	35.8	46.9	-	34.1
	Stabilizare (700°C)	Fața sup.	11.8	29.4	29.2	25.1	27.0	-	24.5
		Fața inf.	28.0	28.7	26.3	30.9	35.6	-	29.9

**Tabelul 2. PROPRIETAȚI de compresiune ALE ALIAJELOR CU ENTROPIE RIDICATĂ**

Aliaj	Tratament termic	Epruveta	Cod	Dimensiuni inițiale [mm]		Dimensiuni finale [mm]		Rez. la rupere [N/mm <sup>2</sup> ]	Def. maximă [mm]
				d <sub>0</sub>	h <sub>0</sub>	d <sub>1</sub>	h <sub>1</sub>	σ <sub>r</sub>	ε
Al <sub>0.8</sub> CrFeCoNi	Fără TT	Epruv. 1	80-01	6.00	8.00	***	***	2635.6	3.07
		Epruv. 2	80-02	5.90	8.00	***	***	2808.0	3.27
	Omogenizare (1100°C)	Epruv. 1	80-11	6.14	7.96	8.50	4.52	2526.2	1.28
		Epruv. 2	80-12	5.90	8.35	8.10	4.70	2919.9	4.00
	Stabilizare (900°C)	Epruv. 1	80-21	6.00	8.69	-	-	2159.9	2.22
		Epruv. 2	80-22	5.90	7.75	7.90	4.73	2687.3	0.90
	Stabilizare (700°C)	Epruv. 1	80-31	6.08	8.00	7.80	5.75	2686.6	2.36
		Epruv. 2	80-32	6.05	8.30	7.60	5.90	2594.0	2.35

### 3. Obținerea aliajelor cu entropie ridicată

Aliajele metalice cu entropie ridicată au fost obținute în laboratorul ERAMET al UPB-SIM, într-o instalație de retopire cu arc în vid (RAV), model MRF ABJ 900. Au fost realizate mai multe eșantioane de test sub forma de baghete, care ulterior au fost prelucrate prin frezare pentru realizarea pieselor brazate. Aliajul a fost retopit în agregatul metalurgic de 3 ori pe fiecare suprafață de separație cu atmosfera inertă de argon pentru obținerea unei omogenități corespunzătoare.

Pentru realizarea testelor mecanice și a probelor îmbinate prin brazare s-au prelucrat plăci din aliaje HEA având dimensiuni de 5x10x55mm. O parte dintre probe au fost supuse testelor de rupere prin șoc, valoarea energiei de rupere fiind de circa 60J la temperatura de 20°C, iar altele s-au îmbinat prin brazare. Prelucrarea plăcilor s-a realizat în stare turnată, utilizând procedeul de frezare.

**Tabelul 3. Compoziția chimică globală determinată prin analiză spectrală**

	HEA5
	Al <sub>0.8</sub> CrFeCoNi
Al, %	8.72
Cr, %	21
Fe, %	22.61
Co, %	23.82
Ni, %	23.85



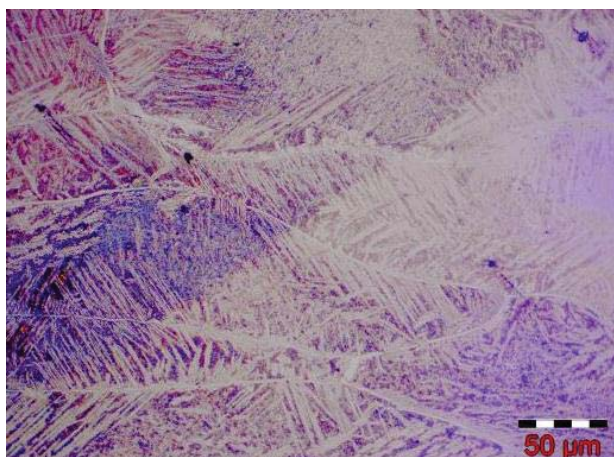


Fig.6 Microstructura aliajului HEA 5 in stare turnată – dendrite de aliaj alfa

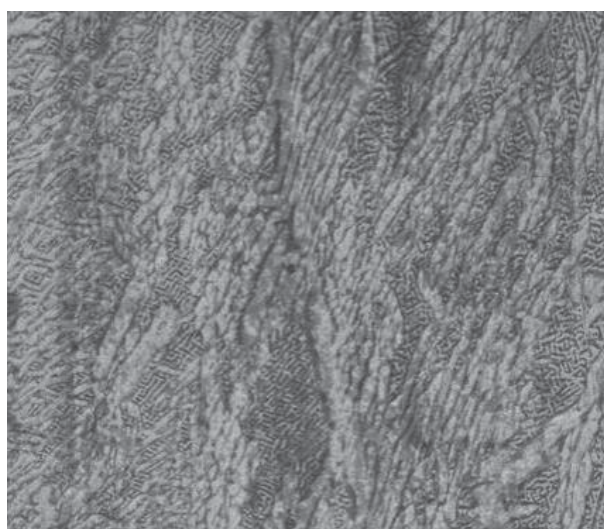


Fig.7 Microscopie electronică

#### 4. Brazarea aliajelor cu entropie ridicată

Brazarea este un proces de îmbinare a metalelor sau materialelor ceramice care utilizează un metal sau un aliaj de adaos care se topește (la o temperatură mai mare de 450 °C) și pătrunde prin capilaritate în interstițiul dintre componentele de asamblat. Cu această metodă pot fi realizate asamblări omogene, între materiale de același tip sau cu aceeași compoziție chimică, dar și asamblări eterogene, între piese metalice cu compoziții chimice complet diferite sau componente ceramice.

Materialul de adaos este adus în stare lichidă la o temperatură puțin mai mare decât temperatura sa de topire, fiind protejat împotriva oxidării de o atmosferă sau un flux adecvat. Acesta interacționează cu interfețele componentelor de asamblat, efectul fiind cunoscut sub denumirea de umectare, ocazie cu care se creează legături stabile la nivel atomic și aderență reciprocă, după care se răcește rapid pentru a forma o îmbinare fermă.

Prin definiție, temperatura de topire a materialului de adaos este întotdeauna substanțial mai mică decât temperatura de topire a materialelor care sunt îmbinate. Asamblările brazate sunt, în general, mai rezistente decât metalele de adaos utilizate, ca urmare a geometriei îmbinării și legăturilor puternice care se formează la nivelul interfețelor umectate ale componentelor.

### Materiale de adaos

Baghete învelite - BAg45CuZn

- tijă metalică (sârmă)
- înveliș din amestec de minerale și pulberi metalice

**Tabelul 4. Compoziția chimică a baghetei**

Aliajul baghetei	Compoziția chimică, în % masice			
	Ag	Cu	Zn	Alte elemente
BAg45CuZn	45,4	27,2	24,2	0,2

**Tabelul 5. Rolul compușilor chimici**

Denumire compus chimic din înveliș	Rolul componentului
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zgurificare
KC <sub>1</sub> NaF Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> KBF <sub>4</sub> KF	Decapare (dezoxidare)

### Flux decapant

Fluxurile de tip FH 10 sunt fluxuri de uz general și se utilizează pentru intervalul de temperaturi de utilizare de la 550°C până la 800°C.

Conțin următoarele componente: bor, fluoruri simple și complexe. Reziduurile lor sunt în general corozive și trebuie îndepărtate, după brazare, prin spălare sau periere.

### Elemente ale fluxurilor

Boraxul în stare topită are o acțiune acidă. Are o comportare bună în procesul de lipire, utilizat în amestec cu metaborat de sodiu și trioxid de bor. Acțiunea activă chimic este exercitată de oxidul de bor, care reacționează cu oxizii de pe suprafețele pieselor de lipit cu formare de borați cu structură amorfă, ușor de îndepărtat prin spălare sau periere.

### 5. Etape rămase după pregătirea pieselor

- A. Curățare suprafețe (Borax)
- B. Uscare – aer cald
- C. Poziționare piese în dispozitiv
- D. Brazare cu flacăra de gaze:
  - a) Încălzire
  - b) Adăugare material adaos – sârma din aliaj Cu-Ag
  - c) Lipire – pătrundere metal topit în interstițiul dintre piese
  - d) Răcire
  - e) Desprindere din dispozitiv
  - f) Control vizual
  - g) Control distructiv

### Microduratea Vickers

Măsurarea microdurateții aliajului hiperentropic s-a realizat cu ajutorul unui durimetru Shimadzu HMV 2T.

Forța aplicată = 200N (HV0,2)

Timpul de apăsare = 10 sec.

**Tabelul 6.**

Proba	Zona de măsurare	Valoare medie HV0,2
Aliaj HEA 5 fără tratament termic	Material de adaos	171
	Material de bază	331
	Zonă de influență termică	365

**Tabelul 7.**

Proba	Zona de măsurare	Valoare medie HV0,2
Aliaj HEA 5 cu tratament termic	Material de adaos	171
	Material de bază	331
	Zonă de influență termică	301

## 6. Concluzii

Probele din aliajul cu entropie ridicată au fost îmbinate prin lipire tare (brazare) cu flacără oxigaz utilizând ca materiale de adaos baghete învelite din aliaj AgCuZn.

Aliajul de lipire a avut o comportare bună la brazare, având un domeniu de topire îngust (700-800°C) și o bună capacitate de umectare a suprafețelor pieselor din aliaje cu entropie ridicată. Aspectul suprafețelor după lipire a fost satisfăcător, compușii rezultați prin topirea fluxurilor decapante fiind îndepărtați cu ușurință prin spălare și periere cu perie din sârmă. Duritatea zonei de îmbinare a crescut în cazul pieselor fără tratament termic, dar a scăzut în cazul celor tratate termic. Scăderea nu este foarte mare.

Această lucrare reprezintă un element de noutate la nivel național și internațional, abordând un domeniu încă în curs de explorare și îmbunătățire.

## 7. Bibliografie

- [1]. V. Geantă, I. Voiculescu, T. Cherecheș și alții – Contract de cercetare: Structuri compozite rezistente la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare cu aplicabilitate în domeniul protecției colective – HEAMIL – PCCA 209/2012
- [2]. Che-Wei Tsai, Yu-Liang Chen, Ming-Hung Tsai, Jien-Wei Yeh, Tao-Tsung Shun, Swe-Kai Chen, Deformation and annealing behaviors of high-entropy alloy Al<sub>0.5</sub>CoCrCuFeNi, *Journal of Alloys and Compounds* 486 (2009) p.427–435;
- [3]. L.H. Wen\*, H.C. Kou, J.S. Li, H. Chang, X.Y. Xue, L. Zhou, Effect of aging temperature on microstructure and properties of AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy, *Intermetallics* 17 (2009) p.266–269;
- [4]. J.J. Harwood, *Strengthening Mechanisms in Solids*, Metal Park, Ohio, ASM Seminar, 1960, 23;
- [5]. C.Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 6th ed. New York, John Wiley&Sons, Inc, 1980, 67;
- [6]. Y. Zhang, Y. J. Zhou, X. D. Hui, M. L. Wang, G. L. Chen, Minor alloying behaviour in bulk metallic glasses and high entropy alloys, *Science in China, Series G, Physics, Mechanics & Astronomy*, 2008, Vol. 51, no.4, p 427-437.
- [7]. C. Li, J.C. Li, M. Zhao, Q. Jiang, Effect of alloying elements on microstructure and properties of multiprincipal elements high-entropy alloys, *Journal of Alloys and Compounds* 475 (2009) p.752–757;
- [8]. C. W. Tasi, Y. L. Chen, M.H. Tsai, J. W. Yeh, T.T Shun, S. K. Chen, Deformation and annealing behaviors of high –entropy alloy Al<sub>0.5</sub>CoCrCuFeNi, *Journal of Alloys and Compounds*, 486 (2009) p. 427-435;
- [9]. Sternberg, S., Landauer, O., Mateescu, C., Geană, D., Vișan, T. *Chimie fizică*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1981.
- [10]. Victor Geanta, Tudor Chereches, Paul Lixandru, Ionelia Voiculescu, Radu Stefanioiu, Daniel Dragnea, Teodora Zecheru, Liviu Matache, *Virtual Testing of Composite Structures Made of High Entropy Alloys and Steel*, *Metals* 2017, 7, 496; doi:10.3390/met7110496, p.1-14, ISSN: 2075-4701, WOS:000416803200046 (Q1, Q2), IF=1,984.