



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2016 00556**

(22) Data de depozit: **03/08/2016**

(41) Data publicării cererii:
28/02/2018 BOPI nr. **2/2018**

(71) Solicitant:

• **GEANTĂ VICTOR**, STR. IANI BUZOIANI NR. 1, BL. 16 A, AP. 32, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B. RO;
• **VOICULESCU IONELIA**, STR. VINTILĂ MIHĂILESCU NR. 8, BL. 78, ET. 7, AP. 44, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B. RO;
• **CHERECHES TUDOR**, STR. MIHAIL ȘEBASTIAN NR. 136, BL. V 90, SC. 5, AP. 144, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B. RO;
• **LIXANDRU PAUL**, CALEA 13 SEPTEMBRIE NR. 117, BL. 123, ET. 3, AP. 8, BUCUREȘTI, B. RO;
• **DRAGNEA DANIEL**, ALEEA JIENEASCĂ NR. 5, BL. 34, SC. 3, ET. 3, AP. 41, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B. RO;
• **ZECHERU TEODORA**, STR. SĂVINEȘTI NR. 5, BL. B, ET. 1, AP. 62, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B. RO;
• **MATACHE LIVIU CRISTIAN**, STR. ANTIAERIANĂ NR. 6 A 27, BL. C4, ET. 1, AP. 5, BUCUREȘTI, B. RO

(72) Inventatori:

• **GEANTĂ VICTOR**, STR. IANI BUZOIANI NR. 1, BL. 16 A, AP. 32, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B. RO;
• **VOICULESCU IONELIA**, STR. VINTILĂ MIHĂILESCU NR. 8, BL. 78, ET. 7, AP. 44, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B. RO;
• **CHERECHES TUDOR**, STR. MIHAIL ȘEBASTIAN NR. 136, BL. V 90, SC. 5, AP. 144, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B. RO;
• **LIXANDRU PAUL**, CALEA 13 SEPTEMBRIE NR. 117, BL. 123, ET. 3, AP. 8, BUCUREȘTI, B. RO;
• **DRAGNEA DANIEL**, ALEEA JIENEASCĂ NR. 5, BL. 34, SC. 3, ET. 3, AP. 41, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B. RO;
• **ZECHERU TEODORA**, STR. SĂVINEȘTI NR. 5, BL. B, ET. 1, AP. 62, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B. RO;
• **MATACHE LIVIU CRISTIAN**, STR. ANTIAERIANĂ NR. 6 A 27, BL. C4, ET. 1, AP. 5, BUCUREȘTI, B. RO

(54) ALIAJ METALIC MULTIELEMENT, REZISTENT LA SOLICITĂRI DINAMICE CU VITEZE MARI DE DEFORMARE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un aliaj metalic multielement, cu entropie ridicată, din sistemul AlCrFeCoNi, care prezintă o foarte bună rezistență la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare, și la un procedeu duplex de obținere a acestuia, aliajul fiind utilizat în domeniul protecției individuale și/sau colective. Aliajul conform invenției are următoarea compoziție chimică exprimată în procente în greutate: 6,50...8,80% Al, 21...22% Cr, 22...23,50% Fe, 23...25% Co, 23...25% Ni, având o densitate cuprinsă între 7,4...7,6 Kg/dm³, temperatura lichidus cuprinsă între 1350...1400 °C, durezza asociată între 700...950 HV_{0,1} și o tenacitate exprimată prin valori ale energiei de rupere prin șoc de 55...70 J, la temperatura de 20 °C. Procedeu conform invenției începe cu selectarea și pregătirea mecanică a materialelor metalice Al, Cr, Fe, Co și Ni cu o puritate avansată > 99%, introducerea acestora în cuptorul cu inducție în vid, în următoarea ordine: fier tip ARMCO, Ni, Cr, Co, iar la sfârșitul elaborării, pentru diminuarea pierderilor prin oxidare, se adaugă 0,1...0,2% Al, în timpul elaborării baia metalică fiind protejată atât de vidul tehnic, cuprins între 10⁻²...10⁻³ mbar, cât și de o atmosferă inertă de argon, obținându-se un aliaj cu temperatura de turnare cuprinsă între 1550...1600 °C, care se toarnă direct în forme metalice, obținându-se plăci cu dimensiuni variabile, în funcție de necesități, care se supun unui al doilea procedeu de purificare prin retopire într-un cuptor cu arc electric în vid, în vederea omogenizării compoziției chimice și finisării granulației și microstructurii, se toarnă din nou aliajul în forme și se supune unui tratament termic, printr-o menținere în cuptorul cu rezistență electrică timp de 48...72 h, la o temperatură cuprinsă între 720...800 °C, urmată de o răcire în apă.

Revendicări: 2
Figuri: 5



Fig. 5

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art. 32 din Legea nr. 64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art. 23 alin. (1) - (3).



10

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cereșe de brevet de invenție
Nr. <u>a 2016 00556</u>
Data depozit <u>03-08-2016</u>

ALIAJ METALIC MULTIELEMENT REZISTENT LA SOLICITARI DINAMICE CU VITEZE MARI DE DEFORMARE ȘI PROCEDEU DUPLEX DE OBTINERE

**Inventatori: GEANTĂ VICTOR, VOICULESCU IONELIA, CHERECHEȘ TUDOR,
LIXANDRU PAUL, DRAGNEA DANIEL, ZECHERU TEODORA, MATACHE LIVIU
CRISTIAN**

Prezenta invenție se referă la un aliaj metalic multielement din sistemul AlCrFeCoNi (aliaj cu entropie ridicată – HEA) caracterizat prin aceea că prezintă o foarte bună rezistență la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare și care, după tratamente termice adecvate, poate fi utilizat singur sau ca element component în structuri compozite gen HEA–OȚEL, HEA – MC (MC - Material Ceramic), HEA–PM (PM - polimer) în domeniul protecției individuale și/sau colective precum și un procedeu duplex de obținere a acestuia, în cuptor electric cu inducție și/sau în instalație de retopire cu arc în vid.

Specificațiile privind securitatea echipamentelor și structurilor de protecție colectivă din domeniul militar au impus cerințe sporite de rezistență la impact dinamic (pătrunderea diferitelor tipuri de proiectile, schije rezultate din explozii) a panourilor/podelelor/scuturilor/armurilor/elementelor de protecție ca urmare a diversificării tipurilor de intervenții în activitățile militare.

Principalele caracteristici pe care trebuie să le îndeplinească materialele destinate fabricării sistemelor armate de protecție sunt: valori ale limitelor de rupere și de curgere cât mai ridicate, duritate și rezistență la impact cât mai mari, alungire la rupere mare și energie de impact la solicitarea de rupere prin soc cât mai mari la temperaturi până la -40 °C. Specificațiile militare curente recomandă următoarele valori ale caracteristicilor mecanice: duritate de minim 540 – 600 BHN sau 55-60 HRC; limita de curgere peste 1500 MPa; limita de rupere peste 1700 MPa; energia de rupere prin soc în jur de 13 J la -40 °C; alungire la rupere de minim 6 % [1 - 5].

Astfel de cerințe au fost parțial satisfăcute prin proiectarea compoziției chimice a unor aliaje metalice cu baza fier, foarte mult utilizate fiind oțelurile de mare rezistență microaliate, din care se realizează elementele de armare având grosimi între 8,5 și 30 mm. Lucrări de cercetare în domeniu [2, 6, 7] au arătat că duritatea materialului de placare nu este un factor suficient pentru asigurarea unei rezistențe maxime față de penetrarea proiectilelor, considerând că valorile caracteristicilor de rezistență mecanică (limitele de curgere și de rupere) sunt mult mai importante în procesul de comportare la solicitări în regim dinamic.

La viteze foarte mari de solicitare, în domeniul 1,5 - 4 km/s, s-a constatat că oțelurile înalt aliate austenitice, deși nu prezintă valori ale durității foarte mari, au o tenacitate remarcabilă până la temperaturi apropiate de zero absolut, au o comportare la impact foarte bună, comparabilă cu cea a oțelurilor de mare rezistență. S-a constatat că, în plăci groase supuse la solicitări cu viteze mai scăzute decât cele considerate a fi de nivel balistic, zona afectată de impact este mult mai localizată decât în plăcile subțiri. De aceea, abilitatea de a rezista la solicitări balistice de perforare depinde de valoarea durității în cazul plăcilor groase, în timp ce capacitatea de deformare plastică într-un volum cât mai mare în jurul zonei solicitate este mai importantă în cazul plăcilor subțiri.

Oțelurile slab aliate de mare rezistență sunt frecvent utilizate pentru realizarea unor elemente de blindaj, atât pentru aplicații militare cât și civile, datorită caracteristicilor mecanice, de duritate și tenacitate foarte mari [7]. Se consideră că o examinare a microstructurii poate oferi informații deosebit de utile pentru aprecierea comportării materialelor în timpul deformării dinamice, pentru studierea modului în care acesta este capabil să atenueze sau să oprească penetrarea blindajului de către proiectile.

Un alt tip de oțeluri care au fost supuse încercărilor dinamice sunt cele cu microstructura compozită, alcătuite din ferită (50 %), bainită (40 %) și austenită reziduală metastabilă (10 %), cunoscute în literatura de specialitate drept oțeluri TRIP [8]. S-a constatat că, în timpul deformării plastice, austenita reziduală din aceste oțeluri se transformă în martensită (α'), ceea ce determină obținerea unor caracteristici deosebite de rezistență (limita de curgere și de rupere), combinate cu o ductilitate excelentă. Aceste caracteristici permit disiparea energiei de impact și comportarea foarte bună la sollicitări dinamice. Stabilitatea microstructurală depinde de compoziția chimică, dimensiunea graunțului, temperatura și viteza de încercare [8].

Un alt tip de material analizat de către cercetătorii din domeniul încercărilor dinamice este spuma ultradensă, celulară, a cărei capacitate de absorbție a energiei de impact s-a dovedit a fi foarte mare. Acest material are capacitate de încetinire a vitezei de deplasare a proiectilului dinamic [9], datorită microstructurii complexe care îi permite un larg domeniu de deformare plastică. La valori mari ale energiei de impact spuma se densifică atât de mult încât devine comparabilă cu un material solid.

Alte materiale testate au fost matricile metalice compozite de cupru ranforsate cu fibre din oțel, care au caracteristici deosebite la compresiunea prin impact dinamic [10].

În cazul materialelor termoplastice de tip polipropilenă, îmbunătățirea rezistenței la impact presupune adăugarea unui polimer secundar, cu scopul scăderii temperaturii de deplasare moleculară. În acest fel, se asigură absorbția și disiparea energiei de impact, cu prevenirea ruperii prin fragmentare [11, 12].

O altă idee privind materialele de protecție împotriva proiectilelor a fost aceea de a realiza un compozit având zona centrală din ceramică, securizat pe suprafețele laterale cu două plăci metalice [13]. Miezul ceramic a fost realizat din pulberi sinterizate de Al_2O_3 , B_4C sau TiB_2 iar plăcile laterale pot fi realizate din aliaj Ti6Al4V sau aliaj de aluminiu 6061 deșus pe plăci ceramice din Al_2O_3 .

Scuturile anti-proiectil tradiționale sunt realizate din materiale cu volum mare (din oțel), dar pentru armuri corporale sunt necesare materiale ușoare, cum este Kevlar-ul. La astfel de aplicații grosimea și greutatea armurii trebuie să fie cât mai mici, dar să asigure totodată și absorbția energiei de impact. S-a demonstrat că și aliajele metalice ușoare (aliaje de aluminiu, magneziu sau titan) precum și anumiți polimeri, sunt capabile de a asigura un nivel de protecție la fel de eficient.

La nivel internațional sunt cunoscute și alte soluții pentru fabricarea panourilor pentru protecția împotriva proiectilelor perforante, a țintelor și a infrastructurii. Astfel de soluții se găsesc prezente în panouri multistrat realizate din combinații de oțel structural cu fibra de sticlă și Kevlar, pentru a atenua explozia minelor, compozite care conțin fibre și matrice de polimer poliolenfinic, aliaje de aluminiu ranforsate cu nano-particule de SiC, Kevlar ACV, armuri din ceramică ușoară pentru a oferi protecție vehiculelor militare împotriva unei largi game de atac balistic (Ceradyne - 2010) etc. [13 - 21].

Structurile propuse prin prezentul brevet de invenție pentru aplicații cu destinație specială, de tipul materialelor compozite tip sandwich au în compoziție noi tipuri de materiale metalice, denumite generic **aliaje cu entropie ridicată** (HEA) [23 - 30].

Prezenta invenție prezintă elemente de progres tehnic prin aceea că rezolvă eficient o modalitate de obținere în sistem duplex a unor noi aliaje metalice multielement din metale pure adăugate în proporții bine stabilite, aliaje din care pot fi confecționate plăci care pot fi ulterior utilizate, după tratamente termice adecvate, la realizarea unor structuri de tip panou/sandwich pentru protecția individuala sau colectiva rezistente la solicitări cu viteze mari de deformare

Un material capabil să îndeplinească asemenea performanțe este cel reprezentat de sistemul AlFeCrCoNi, care prezintă proprietăți mecanice deosebite și care combină valori ridicate ale durității și rezistenței la compresiune cu valori mari ale tenacității și alungirii la rupere.

Aliajul metalic multielement care face obiectul invenției prezintă concomitent valori de duritate și tenacitate ridicate, fiind alcătuit din cinci elemente metalice de puritate avansată, având compoziția chimică situată în domeniile de valori, după cum urmează: Al = 6,50 – 8,80, %, Cr = 21 – 22, %, Fe = 22 – 23,50 %, Co = 23 – 25 %, Ni = 23 – 25%, cu densitatea de 7,4 - 7,6 kg/dm³ și temperatura lichidus între 1350 – 1400°C. Înainte de aplicarea unor tratamente termice acesta prezintă valori medii ale durității între 400 - 535 HV_{0,1}, iar după aplicarea unor tratamente termice specifice prezintă o duritate asociată între 700 – 950 HV_{0,1}, iar tenacitatea exprimată prin energia de rupere prin șoc este de 55 – 70 J la temperatura de 20 °C. Aliajul este obținut prin procedeu duplex de topire și omogenizare a elementelor într-un cuptor cu inducție în vid sau sub atmosferă protectoare de argon, combinat cu retopirea cu arc în vid pentru omogenizarea compoziției chimice și a microstructurii, urmat de tratamente termice pentru obținerea unor valori ale durității ridicate, combinate cu tenacitate maximă.

Procedeu de obținere a aliajului metalic multielement rezistent la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare este caracterizat prin aceea că materialele metalice utilizate pentru obținere Al, Cr, Fe, Co, Ni sunt de puritate cât mai avansată (peste 99 %), selectate și pregătite adecvat introducerii în **cuptorul cu inducție** în vid sau în cuptorul cu inducție cu atmosferă controlată de argon, pentru care calculul de încărcătură ține cont de pierderile masice ale elementelor chimice în timpul elaborării, pierderi dependente de caracteristicile tehnice ale cuptorului, de natura căptușelii refractare și de procedura de lucru. Ordinea de introducere în cuptorul cu inducție în vid este următoarea: fier tip ARMCO, nichel, crom, cobalt, iar la sfârșitul elaborării, pentru diminuarea puternică a pierderilor prin oxidare, aluminiu în proporție de 0,1 – 0,2 %. În timpul elaborării baia metalică poate fi protejată de oxidare atât prin regimul de lucru cu nivel de presiuni redus (vid tehnic de 10⁻² - 10⁻³ mbar), cât și prin utilizarea unei atmosfere inerte de argon, procedeu în urma căruia se obține un aliaj cu temperatura lichidus de 1350 – 1400 °C și temperatura de turnare de 1550 – 1600 °C, care se poate turna direct în forme metalice pentru obținerea de plăci cu dimensiuni variabile, în funcție de necesități (fig. 1). După obținerea plăcilor la dimensiunea dorită, acestea se supun unui al doilea procedeu de purificare prin **retopire cu arc în vid**, în vederea omogenizării compoziției chimice și finisării granulației (fig. 2). Tratamentele termice aplicate acestor materiale constau într-o menținere în cuptor cu rezistență electrică la temperatura de 720 – 800°C, timp de 48 – 72 ore, urmata de răcire rapidă în apă.

De asemenea, prezenta invenție înlătură o parte a dezavantajelor pe care le au alte materiale similare prezentate anterior, adaugând elemente și avantaje importante pentru domenii de solicitare complexă în condiții de solicitări cu viteze mari de deformare și impact, cum ar fi:

- Materialul metalic realizat detine proprietăți concomitente de duritate și tenacitate ridicate, datorită compoziției chimice adecvate alcătuite din fracții cvasiatomice ale elementelor componente, ajustate prin varietatea proporțiilor acestora și prin procedurile de obținere;
- Materialul metalic rezultat permite obținerea în structura metalică a unor durități ridicate prin aplicarea unor tratamente termice, ajungând la valori de 750 – 950 HV_{0,1};
- Compoziția chimică poate fi foarte riguros controlată în cadrul procesului tehnologic de obținere a plăcilor din aliaj cu entropie ridicată, prin utilizarea unor materiale metalice de puritate avansată, prin tehnologie duplex în cuptoare cu inducție în vid sau în cuptoare cu atmosferă inertă de argon, urmata de rafinarea în instalații de retopire cu arc în vid;
- Obținerea plăcilor de diferite dimensiuni se poate realiza prin turnare directă în forme metalice, cu posibilitatea debitării ulterioare la dimensiunile dorite, fără a fi necesare prelucrări suplimentare;

Un exemplu de realizare a invenției în cadrul Laboratorului de Elaborarea și Rafinarea Aliajelor Metalice – ERAMET al facultății de Știința și Ingineria Materialelor a Universității Politehnica din București este prezentat în cele ce urmează. Materialele metalice utilizate (Al, Cr, Fe, Co, Ni) având puritate ridicată (peste 99 %) au fost selectate și pregătite mecanic adecvat introducerii în cuptorul cu inducție în vid sau în cuptorul cu inducție cu atmosferă controlată de argon. Calculul de încărcătură a ținut cont de pierderile masice prin oxidare ale elementelor chimice în timpul elaborării, care sunt dependente, în principal, de caracteristicile tehnice ale cuptorului, calitatea căptușelii refractare și de tehnologia de lucru. Introducerea materialelor metalice în cuptor s-a realizat în ordinea: fier tip ARMCO, nichel, crom, cobalt, aluminiul fiind introdus la sfârșitul procesului de elaborare, pentru diminuarea puternică a pierderilor prin oxidare. În timpul procesului de elaborare, baia metalică a fost protejată la oxidare atât prin regimul de lucru cu nivel de presiuni redus (vid tehnic de 10^{-2} - 10^{-3} mbar), cât și prin utilizarea unei atmosfere inerte controlate cu argon. Temperatura lichidus a aliajului este de circa 1350 °C și necesită o temperatură de turnare de circa 1550 – 1600°C, deoarece viscozitatea este relativ mare. Turnarea se realizează în forme metalice, obținându-se plăci (fig. 3) care pot fi debitate în funcție de necesități. Urmează retopirea cu arc în vid pentru omogenizarea chimică, finisarea granulației și a microstructurii, după care se aplică tratamente termice ulterioare de omogenizare și îmbătrânire timp de 48 – 72 ore la temperaturi de 720 – 800 °C și răcire în apă, pentru se obținerea unor valori ale durității între 750 – 950 HV_{0,1}, concomitent cu o tenacitate ridicată (energie de rupere peste 55J la 20°C). Microstructura de turnare a acestor tipuri de aliaje metalice este prezentată în fig. 4 și constă în dendrite fine cu precipitari de compusi intermetalici în spațiul interdendritic, fără discontinuități de tip fisuri, incluziuni sau pori.

În urma aplicării tratamentelor termice la nivel microstructural se manifestă o omogenizare și o finisare a grăunților (fig. 5), cu apariția a două faze de tip soluție solidă (cubică cu fete centrate și cubică cu volum centrat), cu afinitatea chimică reciprocă foarte bună și fără imperfecțiuni decelabile prin microscopia optică sau electronică (la puteri de mărire de până la 5000x).

Bibliografie

1. K. Maweja, W. Stumpf. The design of advanced performance high strength low-carbon martensitic armor steels Microstructural considerations. *Materials Science and Engineering A*, 480 (2008) p. 160-166.
2. K. Maweja, W.E. Strumpf, *Mater.Sci. Eng A* 432 (2006), p. 158-169.
3. R.I. Hammond, W.G. Proud, *R.Soc.*, 460 (2004), p. 2959-2974.
4. B. Srivathsan, N. Ramakrishnan. *J.Mater.Process.Technol.* 96 (1999), p. 81-91.
5. B. Srivathsan, N. Ramakrishnan. *Comput.Simul. Modell, Eng.3* (1998), p. 33-40.
6. P.S. Follensbee. Part I, Experimental investigation, *Int. J. Plasticity* 15 (1999), p. 241-262.
7. P.K. Jena, K.S. Kumar, V.R. Krishna, A.K. Singh, T.B. Bhat. Studies on the role of microstructure on performance of high strength armour steel, *Engineering Failure Analysis*, 15 (2008), p. 1088-1096;
8. P. Verleysen , J. Van Slycken, J. Degrieck, B.C. De Cooman, L. Samek. *Impact-Dynamic Behaviour of AL-TRIP Steel.*
9. S. Kiernan, L. Cui, M. D. Gilchrist, A numerical Investigation of the Dynamic Behaviour of Functionally Graded Foams. *IUTAM Symposium on Multi-Functional Material Structures and Systems*, 19, DOI 10.1007/978-90-481-377-8-2, Springer Science+Business Media B.V. 2012, p. 15-26.
10. E.El-Magd, Simulation of the material behaviour under impact loading. *Computational Materials Science*, Vol. 1, Issue 3, 1993, p. 333-342.
11. *** Thermal Analysis Application Brief. Polypropylene Impact Resistance by Dynamic Mechanical Analysis, nr. TA-130, <http://www.tainst.com>.
12. Q.H. Shah, Impact resistance of a rectangular polycarbonate armor plate subjected to single and multiple impacts, *International Journal of Impact Engineering*, 36 (2009) p. 1128-1135.
13. US Patent nr. 4987033/1991.
14. US Patent 4876941/1989.
15. USPatent 4030427/1977.
16. R. Pastore, G. Giannini, R. B. Morles, M. Marchetti, D. Micheli, *Impact Response af Nanofluid-Reinforced Antiballistic Kevlar Fabrics, Nanocomposites, New Trends and Developments*, ISBN 978-953-51-0762-0, DOI: 105772/50411, 2012, p. 1-23.
17. Pyke, Andrew J.; Costello, Joseph T.; Stewart, Ian B. (2015-03-01). "Heat strain evaluation of overt and covert body armour in a hot and humid environment". *Applied Ergonomics* 47: pp. 11–15.
18. US Patent 3971072. "Lightweight armor and method of fabrication". PatentStorm LLC. 1976-07-27.
19. <http://www.bulldogdirect.com/kevlar-armor-panels>.
20. <http://www.strongwell.com/products/ballistic-and-storm-panels>.
21. Structuri compozite rezistente la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare cu aplicabilitate în domeniul protecției colective – HEAMIL – Contract PCCA 209/2012
22. Bazle A. Gama, Shridhar Yarlagadda, Masanori (Mike) Kubota, Low Velocity Impact and Damage Behavior of Kevlar Bonded Carbon/Epoxy Composites fabricated by Near-IR irradiation, *COMPOSITES 2006 Convention and Trade Show American Composites Manufacturers Association*, 2006.

23. Csaki, I., Ștefănoiu, R., Geanta, V., Voiculescu, I., Sohaciu, M.G., Soare, A., Poescu, G., Serghiuță, S. Researches regarding the Processing Technique impact on the chemical composition, microstructure and hardness of AlCrFeCoNi high entropy alloy. *Revista de chimie*, Vol. 67, No. 7, p. 1373-1377, 2016.
24. Nahmany, M., Hooper, Z., Stern, A., Geanta, V., Voiculescu, I. AlxCrFeCoNi High-Entropy Alloys: Surface Modification by Electron Beam Bead-on-Plate Melting. *Metallogr. Microstr. Anal.*, May 2016.
25. Geanta, V., Voiculescu, I., Ștefănoiu, R., Savastru, D., Csaki, I., Patroi, D., Leonat, L. Processing and characterization of advanced multi-element high entropy materials from AlCrFeCoNi system. *Optoelectronics and advanced materials – Rapid Communications*, Vol. 7, 11-12, November – December 2013, p.874-880.
26. Voiculescu, I., Geanta, V., Ștefănoiu, R., Patroi, D., Binchiciu, H. Influence of the Chemical Composition on the Microstructure and Microhardness of AlCrFeCoNi High Entropy Alloy. *Revista de Chimie*, Vol. 64, No. 12, 2013, p.1441-1444.
27. Voiculescu, I., Geanta, V., Vasile, I.M., Ștefănoiu, R., Tonoiu, M. Characterisation of weld deposits using as filler metal a high entropy alloy. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, Vol. 15, No. 7-8, July – August 2013, p.650 – 654.
28. Ștefănoiu, R., Geanta, V., Voiculescu, I., Csaki, I., Ghiban, N. Researches regarding the influence of chemical composition on the properties of AlxCrFeCoNi alloys. *Revista de Chimie*, Vol. 65, No. 7, p. 819-821, 2014.
29. C., Zhaoa, M., Li, J.C., Jianga, Q. Effect of alloying elements on microstructure and properties of multiprincipal elements high-entropy alloys. *Intermetallics* 17 (2009) 266–269.
30. 8. Ker-Chang Hsieh, Cheng-Fu Yu, Wen-Tai Hsieh, Wei-Ren Chiang, Jin Son Ku, Jiun-Hui Lai, Chin-Pan Tu, Chih Chao Yang. The microstructure and phase equilibrium of new high performance high-entropy alloys, *Journal of Alloys and Compounds* 483 (2009) 209–212.

Revendicări

1. **Aliaj metalic** multielement rezistent la solicitări cu viteze mari de deformare din sistemul AlCrFeCoNi utilizat pentru obținerea panourilor compozite multistrat, caracterizat prin aceea ca prezintă concomitent duritate și tenacitate ridicate, fiind alcătuit din cinci elemente metalice de puritate avansată, având compoziția chimică situată în domeniile de valori, după cum urmează: Al = 6,50 – 8,80, %, Cr = 21 – 22, %, Fe = 22 – 23,50 %, Co = 23 – 25 %, Ni = 23 – 25%, cu densitatea de 7,4 - 7,6 kg/dm³ și temperatura lichidus de 1350 – 1400°C, material care înainte de tratamente termice prezintă valori medii ale durității de 400 - 535 HV_{0,1}, iar după aplicarea unor tratamente termice specifice prezintă o duritate asociată de 700 – 950 HV_{0,1}, cu tenacitatea exprimată prin valori ale energiei de rupere prin șoc de 55 – 70 J la temperatura de 20 °C, fiind obținut prin procedeu duplex de topire și omogenizare într-un cuptor cu inducție în vid sau sub atmosferă inertă de argon, combinat cu retopirea cu arc în vid pentru omogenizarea compoziției chimice și finisarea granulației și a microstructurii, urmat de tratamente termice omogenizare și îmbătrânire la 720 – 800°C, timp de 48 – 72 ore, urmate de răcire în apă.
2. **Procedeu duplex de obținere** a materialului metalic rezistent la solicitări dinamice cu viteze mari de deformare din sistemul AlFeCrCoNi, caracterizat prin aceea că materialele metalice utilizate pentru obținere Al, Cr, Fe, Mn, Ni sunt de puritate cât mai avansată (peste 99 %), selectate și pregătite mecanic adecvat introducerii în cuptorul cu inducție în vid sau în cuptorul cu inducție cu atmosferă inertă de argon, la care calculul de încărcătură ține cont de pierderile de masă ale elementelor chimice în timpul elaborării, pierderi dependente de caracteristicile tehnice ale cuptorului, de natura căptușelii refractare și de procedura de lucru, ordinea de introducere în cuptor fiind următoarea: fier tip ARMCO, nichel, crom, cobalt, iar la sfârșitul elaborării, pentru diminuarea puternică a nivelului de pierderi prin oxidare, aluminiul, baia metalică fiind protejată față de oxidare atât prin regimul de lucru cu nivel de presiuni redus (vid tehnic de 10⁻² - 10⁻³ mbar), cât și prin utilizarea unei atmosfere inerte de argon, procedeu în urma căruia se obține un aliaj cu temperatura lichidus de 1350 – 1400°C și temperatura de turnare de 1550 – 1600°C, care se poate turna direct în forme metalice pentru obținerea de plăci ce urmează ulterior a fi prelucrate într-o instalație de retopire cu arc în vid pentru finisarea granulației, compoziției chimice și a microstructurii.

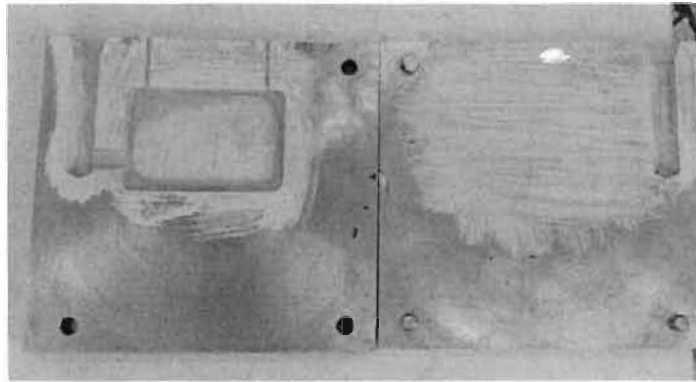
Borderou de figuri

Fig. 1. Forme metalice pentru turnarea plăcilor din aliaj cu entropie ridicată pentru panouri de protecție.



Fig. 2. Plăci din aliaj metalic multielement AlCrFeCoNi obținute prin turnare din materialul elaborat în cuptorul cu inducție.

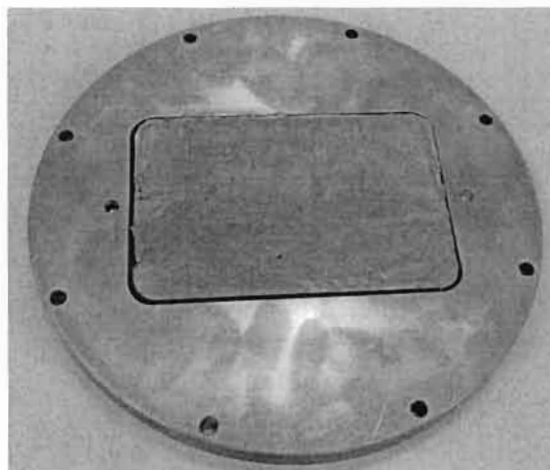


Fig. 3. Placa metalică din aliaj multicomponent AlCrFeCoNi pregătită pentru retopire în instalația VAR.

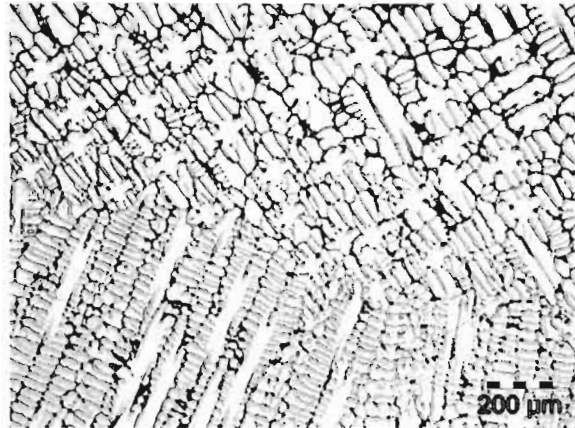


Fig. 4. Microstructură de turnare a materialului metalic multielement cu duritate și tenacitate ridicate (200x).



Fig. 5. Microstructura materialului metalic multielement după tratamentul termic. Finisarea granulației dendritice și punerea în soluție a compușilor intermetalici (200x).