

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2021 00317

(22) Data de depozit: 07/06/2021

(41) Data publicării cererii:
30/12/2022 BOPI nr. 12/2022

(71) Solicitant:

- VOICULESCU IONELIA, STR. CRISTIAN PASCAL, NR.18, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- GEANTĂ VICTOR, STR.IANI BUZOIANI, NR.1, BL.16A, AP.32, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
- ȘTEFĂNOIU RADU, STR.PICTOR NEGULICI, NR.40, AP.4, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
- SCUTELNICU ELENA, STR.TRAIAN, NR.31, GALAȚI, GL, RO;
- SAVU IONEL DĂNUȚ, STR.GRIVIȚEI, NR.23, DROBETA TURNU SEVERIN, MH, RO;
- MITRICĂ DUMITRU, BD.1DECEMBRIE, NR.30, BL.Z4, SC.6, PARTER, AP.66, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
- ROTARIU ADRIAN, STR.ANTIAERIANĂ, NR.6A-27, BL.C4, ET.1, AP.5, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:

- VOICULESCU IONELIA, STR. CRISTIAN PASCAL, NR.18, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;
- GEANTĂ VICTOR, STR.IANI BUZOIANI, NR.1, BL.16A, AP.32, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
- ȘTEFĂNOIU RADU, STR.PICTOR NEGULICI, NR.40, AP.4, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;
- SCUTELNICU ELENA, STR.TRAIAN, NR.31, GALAȚI, GL, RO;
- SAVU IONEL DĂNUȚ, STR.GRIVIȚEI, NR.23, DROBETA TURNU SEVERIN, MH, RO;
- MITRICĂ DUMITRU, BD.1DECEMBRIE, NR.30, BL.Z4, SC.6, PARTER, AP.66, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;
- ROTARIU ADRIAN, STR.ANTIAERIANĂ, NR.6A-27, BL.C4, ET.1, AP.5, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) ANSAMBLU ETEROGEN MULTI-COMPONENT ÎNTRE ALIAJE CU ENTROPIE ÎNALTĂ ȘI OȚELURI STRUCTURALE DESTINAT REALIZĂRII BLINDAJELOR ÎMPOTRIVA PENETRATOARELOR DINAMICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un ansamblu eterogen multi - component realizat din aliaje cu entropie înaltă și oțeluri structurale, utilizat la protecția blindajelor vehiculelor militare împotriva penetratoarelor dinamice. Ansamblul eterogen multi - component conform invenției este alcătuit din aliaje cu entropie înaltă din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCrFeMnNi și CrFeMoTaTiZr care sunt fabricate prin turnare în forme cu configurație dorită, aliajele fiind obținute fie în cuptoare cu inducție în aer sau vid, fie într-o instalație de retopire cu arc în vid, proprietățile mecanice de rezistență la compresiune cuprinse între 1000...2000 MPa și de duritate de 400...1300 HV0.2 putând fi ulterior îmbunătățite prin tratamente termice de omogenizare efectuate la temperaturi cuprinse între 720...800°C cu menținere la temperatura maximă un timp cuprins între 4...72 ore, urmat de răcire în aer sau apă, ansamblul multi - component realizându-se prin sudare WIG cu aliaje cu conținut de 50% Ni aparținând sistemului 45Cu - 25Ag - 30Zn, iar prinderea este realizabilă prin cusături continue sau discontinue, direct pe zonele de interes, la

interiorul sau la exteriorul structurii metalice a vehiculului blindat, fiind posibilă totodată fixarea, refacerea zonelor avariate sau desprinderea cu ușurință a ansamblului eterogen de blindaj, în funcție de necesități.

Revendicări: 1
Figuri: 5

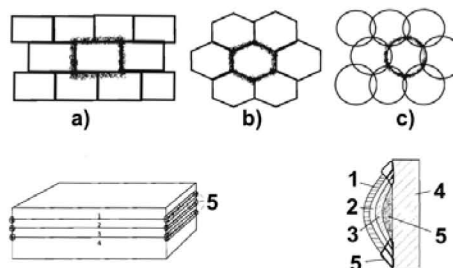


Fig. 1

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).



12

ANSAMBLU ETEROGEN MULTI-COMPONENT ÎNTRE ALIAJE CU ENTROPIE ÎNALTĂ ȘI OȚELURI STRUCTURALE DESTINAT REALIZĂRII BLINDAJELOR ÎMPOTRIVA PENETRATOARELOR DINAMICE

**Inventatori: VOICULESCU IONELIA, GEANTĂ VICTOR,
ȘTEFĂNOIU RADU, ȘCUTELNICU ELENA, SAVU IONEL DĂNUȚ,
MITRICĂ DUMITRU, ROTARIU ADRIAN**

Prezenta invenție se referă la ansamblul eterogen între oțeluri structurale și aliaje cu entropie înaltă (HEA) din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCoFeMnNi și CrFeMoTaTiZr, caracterizate prin aceea că pot fi obținute prin sudare sau brazare cu posibilitate de utilizare ca elemente de blindaj, prin atașare pe structura metalică existentă a vehiculelor militare, în vederea asigurării unei protecții suplimentare a unor zone critice ale acestora (suprafețe pe care penetratoarele dinamice pot declanșa explozia, incendierea vehiculului sau lovirea personalului din vehiculele aflate în misiuni de luptă), deoarece posedă o mare diversitate de forme și dimensiuni, capacitate de combinare sau suprapunere pentru creșterea rezistenței la șoc, foarte bună rezistență la impactul cu penetratoare dinamice, permițând amplasarea direct pe zonele de interes, precum și prinderea, refacerea zonelor avariate sau desprinderea cu ușurință a acestuia, în funcție de necesități. Componenta cu rezistență sporită la impact din ansamblul multi-component este realizată din aliaje cu entropie înaltă (HEA) și se poate fabrica prin turnare în forme cu configurație dorită (fig. 1), matricea metalică fiind obținută în cuptor electric cu inducție în aer sau în vid și/sau în instalație de retopire cu arc în vid.

Ca urmare a proprietăților speciale pe care le posedă, cum sunt rezistența mecanică foarte mare (limite de rupere peste 2500MPa [1]), duritatea comparabilă cu a oțelurilor înalt aliate călite (300-600HV) [2-8], rezistență la coroziune superioară comparativ cu oțelurile inoxidabile [9-11], rezistență la impact și tenacitate foarte bună [12-14], HEA reprezintă o nouă clasă de aliaje care sunt din ce în ce mai mult studiate cu scopul utilizării în diferite aplicații, inclusiv pentru domeniul militar [12].

Deoarece HEA sunt materiale metalice cu un grad înalt de eterogenitate chimică și metalurgică, ca urmare a utilizării a cel puțin 5 elemente chimice introduse în proporții echiatomice sau quasi-atomice care prezintă diferențe mari ale diametrelor atomice și solubilități mutuale diferite, în cele mai multe cazuri este necesară efectuarea unor tratamente termice, după obținerea acestora, înainte de utilizare [15-19].

HEA dedicate domeniilor speciale, cum ar fi panouri sau elemente pentru blindaje, sunt de mare interes, deoarece acestea posedă simultan rezistență la compresiune, duritate și tenacitate considerabilă (energie de rupere prin șoc de circa 62J la temperatura ambiantă) [12-13].

Principalele cerințe pe care trebuie să le îndeplinească materialele din domeniul blindajelor pentru aplicații militare supuse la impact dinamic sunt: capacitatea de absorbție și redistribuire a energiei de impact, capacitatea de a reduce viteza de pătrundere a proiectilelor perforante, capacitatea de deformare sau spargere a vârfurilor penetratoarelor dinamice în momentul impactului [14].

Morice

Se cunosc o serie de soluții tehnice pentru a răspunde acestor cerințe, care vizează combinații de materialele care să poseze simultan rezistență mecanică mare, duritate cel puțin egală cu a vârfurilor penetratoarelor dinamice, tenacitate mare pentru amortizarea șocurilor de impact. Cercetările efectuate la nivel global au arătat că cea mai bună comportare la impactul cu penetratoare dinamice o au **structurile multi-strat**, realizate din combinații de materiale metalice, ceramice, compozite polimerice, Dyneema sau chiar fibre organice [15-29]. Astfel de combinații sunt însă mai dificil de utilizat pe suprafețe mari, de amplasat sau de asamblat pe structura metalică a vehiculelor din domeniul militar, și nu oferă întotdeauna rezistență la impactul multiplu.

Pentru a îmbunătăți comportarea la impactul succesiv cu penetratoare dinamice, materialele utilizate pentru blindaje localizate pe zonele critice se pot fabrica sub formă de **plăci cu geometrie diversă de dimensiuni reduse** (pătrate, solzi, hexagoane sau chiar triunghiuri, cu dimensiuni de circa 100-150mm) [24], care se alătură sau se suprapun parțial, uneori fiind introduse în casete ce ulterior sunt atașate pe structura metalică existentă. Realizarea unei suprafețe de acoperire mari se poate obține prin **compunerea unor ansambluri multi-strat din diverse materiale** [28-29], pachetele astfel obținute urmând să fie asamblate pe zonele de interes cu potențial de risc la explozie sau impact, utilizând diverse metode (nituire, asamblare cu șuruburi, sudare, lipire, înglobare în matrice compozită etc.) [30-38].

Pentru a asigura rezistența optimă la impactul cu proiectilele dinamice sau la explozii, pachetul multi-material al blindajului trebuie să fie îmbinat rigid cu peretele structural al vehiculului militar, așa cum rezultă din studiile și simulările efectuate cu programe specializate [21, 23, 25, 39]. Metodele de rigidizare a plăcilor multi-component utilizate au fost impregnarea cu rășini, lipirea cu adezivi, brazarea cu aliaje metalice sau sudarea pe contur, dintre acestea avantajele deosebite de productivitate și rezistență oferind mai ales procedeele de sudare sau brazare [30-35]. Rezultate satisfăcătoare au prezentat și procedeele de încărcare prin placare sau metalizare doar pe zonele importante [36]. Metodele de sudare și de brazare asigură nu doar o dispunere diversă (localizare după necesități, prin suprapunere sau alăturare a plăcilor din aliaje speciale), ci și posibilitatea de dezasamblare, dacă este cazul, spre deosebire de straturile placate cu metal depus prin sudare sau metalizare, care sunt mai costisitoare, nu au compactitatea și rezistența necesară pentru impact dinamic și necesită eforturi mai mari de îndepărtare de pe suprafețele metalice ale vehiculelor.

Dintre procedeele de sudare posibil de aplicat la asamblarea aliajelor cu entropie înaltă, cele mai studiate sunt sudarea cu electrod nefuzibil de wolfram în mediu de gaze inerte - WIG, sudarea cu electrod consumabil în mediu de gaze inerte - MIG, sudarea manuală cu arc electric și electrod învelit - MMA, sudarea cu laser sau fascicul de electroni, iar pentru brazare procedeul de topire cu flacără de gaze (lipire cu aliaje metalice având temperaturi de topire peste 450°C).

Prezenta invenție prezintă elemente de progres tehnic prin aceea că rezolvă eficient o modalitate de obținere a ansamblurilor eterogene între oțeluri structurale și aliaje metalice cu entropie înaltă din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCrFeMnNi și CrFeMoTaTiZr, fiind destinate fabricării elementelor de blindaj pentru vehicule militare care sunt supuse la impact dinamic cu proiectile incendiare perforante sau explozii, dispunerea în cadrul ansamblului a plăcilor din aceste aliaje putând fi realizată pe criteriul dispersiei graduale a energiei de impact, plăcile mai dure fiind plasate pe zonele de intrare a vârfurilor penetratoare, iar plăcile mai tenace pe zonele finale ale ansamblului, astfel încât să se realizeze consumul treptat al

energiei de impact fără a se perfora complet ansamblul multi-component și de a se asigura, în acest fel, protecție în cazul loviturilor multiple. Totodată, pre-deformarea ansamblului eterogen și poziționarea sa cu zona convexă către direcția de impact asigură o mai bună capacitate de preluare a energiei de impact (fig. 1). Conform datelor furnizate de simularea cu elemente finite a stării de tensiuni și deformații, în varianta pre-deformată se reduce la jumătate tensionarea materialului (de la 380 N/mm² la aproximativ 170 N/mm²), această comportare fiind datorată unui consum suplimentar de energie necesar pentru deformarea inițial elastică și apoi plastică (pe distanța de circa 2 mm) a ansamblului multi-component, soluția constructivă permițând și optimizarea proprietăților de rezistență prin introducerea în cavitatea produsă prin predeformare a unei spume dense, care contribuie la absorbția și disiparea energiei de impact.

Aliajele care sunt utilizate pentru realizarea ansamblului multi-component la care se referă prezentul brevet de invenție și care fac parte din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCrFeMnNi și CrFeMoTaTiZr, se caracterizează prin aceea că prezintă concomitent valori de duritate înalte (400-1300 HV0.2), rezistență la compresiune mare (1800-2100MPa) și tenacitate bună la temperatura ambiantă (energia de rupere prin șoc de 60-62J la 20°C), fiind alcătuite din cinci sau șase elemente metalice de puritate avansată, având următoarele valori ale compozițiilor chimice exprimate în procente masice:

AlCoCrFeNi: Al = 10,67%; Co = 23,33%; Cr = 20,55%; Fe = 22,13%; Ni = 23,32%.

AlCrFeMnNi: Al = 10,84%; Cr = 20,88%; Fe = 22,49%; Mn = 22,09%; Ni = 23,7%.

CrFeMoTaTiZr: Cr = 9,92%; Fe = 10,69%; Mo = 18,32%; Ta = 34,54%; Ti = 9,16%; Zr = 17,37%.

În stare de turnare aceste aliaje prezintă valori ale durității de 245 - 880 HV0.2, iar după aplicarea unor tratamente termice specifice prezintă o duritate asociată între 400 - 1300 HV0.2. Aliajele pot fi obținute prin topirea materiilor prime metalice într-o instalație de retopire cu arc în vid (RAV), lingourile fiind retopite de minimum 5 ori pe fiecare parte, în alveolele plăcii de bază, pentru omogenizarea compoziției chimice și a microstructurii.

Plăcile ansamblului eterogen multi-component pot fi fabricate și prin turnarea aliajului topit în forme metalice sau ceramice, cu configurațiile dorite, după care se pot supune tratamentelor termice pentru creșterea durității sau a tenacității. Tratamentele termice de durificare s-au efectuat, pentru aliajele cu entropie înaltă care fac obiectul brevetului de invenție, în următoarele condiții: pentru aliajul AlCoCrFeNi recoacere în domeniul de temperatură 720 - 800°C, timp de 48 - 72 ore, urmată de răcire rapidă în apă; pentru aliajul AlCrFeMnNi omogenizare la 600°C cu menținere 4 ore, urmată de răcire în aer, iar pentru aliajul CrFeMoTaTiZr omogenizare la 800°C cu menținere timp de 24 ore, urmată de răcirea lentă cu cuptorul. În urma testelor reale efectuate, s-a constatat că aliajele cu entropie înaltă propuse în propunerea de brevet beneficiază de valori ale durității apropiate de cele ale materialelor ceramice, dar posedă și capacitate de absorbție și disipare a energiei de impact, care a permis reținerea sau blocarea vârfulor penetrante (fig. 2) și asigurarea protecției la lovituri multiple.

Ansamblul eterogen multi-component între oțeluri structurale și aliaje cu entropie înaltă din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCrFeMnNi și CrFeMoTaTiZr care face obiectul prezentei invenții, se poate realiza prin sudare, brazare sau prindere mecanică, asigurând o fixare rigidă (fig. 1), continuă și stabilă la solicitări mecanice de impact cu penetratoare dinamice (proiectil incendiar calibru 7,62mm) sau explozie (încărcătură explozivă Φ 23, h=30, cu masa de 30g, cu

Aliajul

exploziv plastic), putând fi configurat sub formă de ansambluri eterogene compuse din plăci metalice, fabricate din aliaje speciale cu entropie înaltă și oțeluri structurale, având diferite grosimi (pentru asigurarea disipării în gradient energetic a șocului de impact), amplasarea acestora pe peretele structural al vehiculelor militare realizându-se doar în zonele cu risc înalt la perforare sau explozie, prin sudare, brazare sau prin metode de asamblare demontabile, permițând cu ușurință desprinderea, repararea zonelor deteriorate, precum și asamblarea unor ansambluri multi-component noi, atât la interiorul cât și la exteriorul vehiculelor, în diferite zone cu acces dificil sau limitat.

Îmbinarea plăcilor componente ale ansamblului eterogen se poate realiza pe contur, prin suduri sau lipituri continue sau discontinue, în orice plan (orizontal, vertical, peste cap), asamblarea ulterioară a acestora pe structura vehiculelor militare fiind realizabilă la interiorul sau exteriorul structurii metalice a acestora, în funcție de necesități.

Un exemplu de obținere a unor ansambluri eterogene multi-component între oțeluri structurale și aliaje cu entropie înaltă destinate realizării blindajelor împotriva penetratoarelor dinamice este prezentat în cele ce urmează.

Pentru analiza comportării la îmbinarea prin sudare sau brazare, plăci din aliajele cu entropie înaltă propuse în prezentul brevet de invenție au fost asamblate nedemontabil cu plăci din oțel structural S235JR și cu oțel slab aliat tratat termic pentru structuri de tanc, utilizând următoarele procedeele de asamblare: manual cu arc electric și electrod învelit (MMA), cu arc electric în mediu de argon și electrod nefuzibil de wolfram (WIG) utilizând ca material de adaos baghetă din oțel inoxidabil sau aliaje pe bază de Ni, prin sudo-brazare WIG cu baghetă din aliaj de Cu-Ag-Zn și prin brazare cu flacăra de gaze.

Ansamblul eterogen multi-component între oțeluri structurale și aliaje cu entropie înaltă destinat realizării blindajelor împotriva penetratoarelor dinamice a fost obținut din componente metalice sub formă de plăci, fabricate prin turnare în forme rotunde, din aliaje cu entropie înaltă care au rezistență sporită la impact, fiind alcătuit din 1, 2 sau 3 plăci de aliaje HEA diferite, aliajele metalice fiind obținute în cuptor electric cu inducție în aer sau în vid și/sau în instalație de retopire cu arc în vid. Materialele de adaos utilizate pentru asamblarea prin sudare au fost electrozi sau sârme comerciale, cu conținut ridicat de Ni, Cr și Fe, iar cele pentru asamblarea prin brazare au fost sub formă de vergele învelite comerciale din aliaje Cu-Ag-Zn sau Cu-Zn. Sudarea plăcilor ansamblului multi-component s-a realizat utilizând procedeele MMA și WIG, cu material de adaos un electrod cu diametrul de 4 mm și următoarea compoziție chimică (% de masă): C = 0,03%; Mn = 0,8%; Cr = 23%; Ni = 9,0%; Mo = 3,2%, N = 0,17%, precum și WIG cu material de adaos cu compoziția chimică (%de masa): Cu = 0,42%; Al = 2,55%; Co = 5,49%; Cr = 5,82%; Fe = 34,97%; Ni = 50,75%. Sudarea s-a realizat în plan orizontal, cap la cap și prin suprapunere, prin depunerea a câte două straturi pe fiecare parte a plăcilor din aliaje cu entropie înaltă, având grosime între 4 și 8 mm, cu următoarele valori ale parametrilor regimului de sudare: intensitatea curentului 90-110 A, tensiunea de sudare 17-24 V, debitul de gaz inert pentru protecție 10-12l/min.

Comportarea la asamblarea prin sudare și brazare s-a apreciat pe baza testelor de impact dinamic (impactare cu proiectil incendiar calibru 7,62mm, fig. 2, sau cu exploziv plastic și bile din oțel de rulment, atât la nivelul suprafeței ansamblului eterogen cât și la distanța de 100 mm, fig. 3), precum și prin analize ale microstructurii zonei de îmbinare sau pe suprafețele de rupere/impact (analiză macroscopică a îmbinărilor, analiza microscopică pe eșantioane prelevate

Albort

perpendicular pe zona de îmbinare), în cadrul cărora s-a evaluat modul de formare a legăturii metalice între materialele componente ale ansamblului eterogen (HEA+HEA, HEA + oțel) (fig. 4), umețarea suprafețelor cu metalul de adaos lichid la sudare sau brazare (fig. 5), absența imperfecțiunilor generate de procesul de sudare/brazare, testarea durității pe sudură, zona de influență termică și materialele de bază îmbinate. După sudare, probele au fost examinate vizual, apoi cu lichide penetrante, nefiind identificate imperfecțiuni de tip fisuri, lipsă de aderență sau lipsă de topire. Analiza microstructurii pe secțiuni transversale, prelevate pe direcție perpendiculară pe zona de îmbinare, a fost efectuată cu microscop optic și electronic SEM, constatându-se că cea mai bună aderență între plăcile ansamblului sudat s-a obținut prin utilizarea materialului de adaos aliat cu 50%Ni, la care nu s-au identificat fisuri sau compuși fragili.

Brazarea s-a realizat cu material de adaos VI Cu-Ag25, VI Cu-Ag7 și VI Cu-Zn43 utilizând procedeul de topire cu flacără oxigaz neutră. Compozițiile chimice ale vergelelor învelite utilizate pentru brazare au fost: VI Cu-Ag25 (Cu = 44,55%, Ag = 25,30%, Zn = 30,15%), VI Cu-Ag7 (Cu = 58,36%, Ag = 7,26%, Zn = 34,38%) și VI Cu-Zn43 (Cu = 56,87%, Zn = 43,13%). Probele din aliaje cu entropie înaltă au fost brazate pe suport din oțel structural S235JR, în urma analizei zonei de îmbinare constatându-se obținerea unei bune pătrunderi, pe circa 3,5 mm, a aliajului de brazare (fig. 5), fără fisuri, discontinuități sau desprinderi, cu valori ale unghiului de umețare sub 10° la ambele suprafețe metalice.

De asemenea, **prezenta invenție înlătură o parte a dezavantajelor** pe care le au alte procedee de asamblare prezentate anterior, adăugând elemente și avantaje importante pentru domeniul de utilizare ca ansambluri de protecție suplimentară la impactul cu penetratoare perforante sau explozie, cum ar fi:

- Alegerea materialului de adaos cu 50%Ni pentru realizarea sudurilor între aliajele cu entropie înaltă sau cu substratul din oțel structural, permite obținerea unei bune aderențe între materiale cu proprietăți mecanice și metalurgice diferite, o bună capacitate de disipare a tensiunilor interne, formarea unei suduri lipsite de fisuri, incluziuni, pori sau compuși duri, procedeul de sudare WIG fiind adecvat pentru realizarea ansamblurilor multi-component destinate fabricării acestor blindaje suplimentare, fixate prin sudare pe structura metalică a vehiculelor militare;
- Materialul metalic depus prin sudare sau brazare pe conturul plăcilor permite o prindere rigidă cu rezistență suficient de mare, asigurând rolul funcțional de fixare a unor elemente de blindaj suplimentare, sub formă de ansambluri multi-component din aliaje cu entropie înaltă rezistente la perforarea multiplă cu penetratoare dinamice, superioare materialelor ceramice care se sparg la primul impact și nu mai asigură protecția în zona lovită/spartă;
- Plăcile din aliaje cu entropie înaltă pot fi asamblate prin sudarea WIG în fabrica producătoare a vehiculului blindat, pe șantier sau în teren, fără pregătiri suplimentare ale substratului, procedeul fiind flexibil și aplicabil pentru orice poziție de sudare, la interiorul sau exteriorul vehiculului. Față de procedeele MIG, cu plasmă, cu laser sau cu fascicul de electroni, procedeele de sudare WIG, de sudo-brazare WIG sau de brazare cu flacără de gaze sunt mai ușor de aplicat, mai ieftine și cu performanțe foarte bune ale calității sudurii, fiind ideale pentru asamblarea plăcilor HEA cu dimensiuni reduse.

Morice

Bibliografie

- [1] Ming-Hung Tsai & Jien-Wei Yeh (2014) High-Entropy Alloys: A Critical Review, *Materials Research Letters*, 2:3, 107-123, DOI: 10.1080/21663831.2014.912690.
- [2] Voiculescu, I., Geantă, V., Ștefănoiu, R., Patroi, D., Binchiciu, H., Influence of the Chemical Composition on the Microstructure and Microhardness of AlCrFeCoNi High Entropy Alloy. *Rev. Chim.*, Vol. 64, No. 12, 2013, p.1441-1444.
- [3] Ye, Y.F., Wang, Q., Lu, J., Liu, C.T., Yang, Y., High entropy alloy: challenges and prospects, *Materials Today*, 19, no.6 (2016) p.349-362.
- [4] B.S. Murty, J.W. Yeh, S. Ranganathan, P.P. Bhattacharjee, *High-entropy alloys*. Elsevier 2019.
- [5] M.C. Gao, Progress in high-entropy alloys. *JOM* 66 (2014) 1964–1965, <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1136-3>.
- [6] D.B. Miracle, Critical assessment 14: High entropy alloys and their development as structural materials. *Mater Sci Tech-Lond.* 31 (2015) 1142–1147, <https://doi.org/10.1179/1743284714Y.0000000749>.
- [7] Z.P. Lu, H. Wang, M.W. Chen, I. Baker, J.W. Yeh, C.T. Liu, T.G. Nieh, An assessment on the future development of high-entropy alloys: summary from a recent workshop. *Intermetallics.* 66 (2015) 67–76, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2015.06.021>.
- [8] D.B. Miracle, O.N. Senkov, A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Mate.* 122 (2017) 448–511, <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>.
- [9] Shi Y., Yang B., Liaw P. K., Corrosion-Resistant High-Entropy Alloys: A Review, *Metals* 7, 43 (2017) doi:10.3390/met7020043.
- [10] Luo H., Li Z., M. Mingers A., Raabe D., Corrosion behavior of an equiatomic CoCrFeMnNi high-entropy alloy compared with 304 stainless steel in sulfuric acid solution, *Corrosion Science* 134 (2018) p.131-139.
- [11] M. López Ríos, P. P. Socorro Perdomo, I. Voiculescu, V. Geanta, J.C Mîrza Roșca, Effects of nickel content on the microstructure, microhardness and corrosion behavior of high-entropy AlCoCrFeNi_x alloys, *Nature Research, Scientific Reports* 10 (1), 2020, DOI: 10.1038/s41598-020-78108-5
- [12] Geanta V., Voiculescu I., Characterization and Testing of High Entropy Alloys from AlCrFeCoNi System for Military Applications, *IntechOpen* 2019, p. 1-8, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88622>.
- [13] Geanta, V., Chereches, T., Lixandru, P., Voiculescu, I., Ștefănoiu, R., Dragnea, D., Zecheru, T., Matache, L., Virtual Testing of Composite Structures Made of High Entropy Alloys and Steel, *Metals*, Vol.7, Issue 11(2017) pp. 1-14.
- [14] Graham Cooper and Philip Gotts, (2003) *Ballistic Protection*, Chapter 4. British Crown copyright 2003/DSTL, p. 67-90.
- [15] Matache, L.C., Lixandru, P., Chereches, T., Mazuru, A., Chereches, D., Geanta, V., Voiculescu I., Trana, E., Rotariu, A.N., Determination of material constants for high strain rate constitutive model of high entropy alloys, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Volume 591, Issue 1, 14 August 2019, Article number 0120577.
- [16] A. Munitz, S. Salhov, G. Guttmann, N. Derimow, M. Nahmany, Heat treatment influence on the microstructure and mechanical properties of AlCrFeNiTi0. 5

Elhorical

2

- high entropy alloys. *J Mater Sci Eng A* 742 (2019) 1–14, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.10.114>.
- [17] Voiculescu, I., Geanta, V., Ionescu, M., Effects of heat treatments on the microstructure and microhardness of Al_xCrFeNiMn alloys, (2015) *Annals of "Dunărea de Jos" University of Galati, Fascicle XII, Welding Equipment and Technology*, 26, p. 5-11.
- [18] 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 CoCrCuFeNi high-entropy alloy, *Intermetallics*, no.17 (2009), p. 266-269;
- [19] 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_{0.5}CoCrCuFeNi, *Journal of Alloys and compounds*, 486 (2009), p.424-435;
- [20] Yih-Farn Kao, Ting-Jie Chen, Swe-Kai Chen, Jien-Wei Yeh, Microstructure and mechanical property of as-cast, -homogenized, and-deformed Al_xCoCrFeNi (0≤x≤2) high-entropy alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, (2009), doi: 10.1016/J.jallcom.2009.08.090, p 1-9.
- [21] Emre Palta, Matthew Gutowski, Hongbing Fang, (2018), A numerical study of steel and hybrid armor plates under ballistic impacts, *International Journal of Solids and Structures*, 136–137, p.279–294.
- [22] Ionelia Voiculescu, Victor Geanta, Tudor Chereches, Petrica Vizureanu, Radu Stefanoiu, Adrian Rotariu, Dumitru Mitrica, Impact behavior of the ballistic targets package composed of Dyneema polymer and high entropy alloy structures, *Archives of Metallurgy and Materials*, 2021, AMM-00144-2021-03.
- [23] Cherecheș Tudor, Lixandru Paul, Geantă Victor, Voiculescu Ionelia, Dragnea Daniel and Ștefănoiu Radu, Layered Structures Analysis, with High Entropy Alloys, for Ballistic Protection, *Applied Mechanics and Materials*, 201, ISSN: 1662-7482, Vols. 809-810, p 724-729.
- [24] Ballistic Impact Mechanisms Of Materials, <https://www2.virginia.edu/ms/research/wadley/ballistic-impact.html>
- [25] Mahfuz, H., Zhu, Y., Haque, A., Abutalib, A., Vahadilla, U., Jeelani, S., Gama, B., Gillespie, J. and Fink, B. "Investigation of high – velocity impact on integral armor using finite element method", *International Journal of Impact Engineering*, 24, 203 – 217, 2000.
- [26] C.J. Yungwirth, J. O'Connor, A. Zakraysek, V.S. Deshpande, H.N.G. Wadley, Exploration of Hybrid Sandwich Panel Concepts for Projectile Impact Mitigation, *Journal of American Ceramic Society*, 94, p. S62-S75, 2011.
- [27] H.N.G. Wadley, K.P. Dharmasena, M.R. O'Masta, J.J. Wetzel, Impact Response of Aluminum Corrugated Core Sandwich Panels, *International Journal of Impact Engineering*, 62, p. 114-128, 2013.
- [28] K. Karthikeyan, B.P. Russell, N.A. Fleck, H.N.G. Wadley, V.S. Deshpande, The Effect of Shear Strength on the Ballistic Response of Laminated Composite Plates, *European Journal of Mechanics/A Solids*, 42, p. 35-53, 2013.
- [29] Effect of Core Topology on Projectile Penetration in Hybrid Aluminum/Alumina Sandwich Structures, H.N.G. Wadley, M.R. O'Masta, K.P. Dharmasena, B.G. Compton, E.A. Gamble, F.W. Zok, *International Journal of Impact Engineering*, 62, 99-113, 2013.

Elmorad

- [30] E.Scutelnicu &all, A Review of High Entropy Alloys Behaviour during welding, RevChim Bucharest, 71 (3), 2020, 219-233.
- [31] Wenyi Huo, Hai-fang Shi, Xin Ren, Jing-yuan Zhang, Microstructure and Wear Behavior of CoCrFeMnNbNi High-Entropy Alloy Coating by TIG Cladding, Advances in Materials Science and Engineering (2015), Article ID 647351,1-5.
- [32] Wu, Z., David, S. A., Feng, Z., Bei, H., Weldability of a high entropy CrMnFeCoNi alloy, Scripta Materialia 124 (2016), pp. 81–85.
- [33] R. Sokkalingam, K. Sivaprasad, and V. Muthupandi, Welding of High Entropy Alloys. Techniques, Advantages, and Applications: A Review, 2020, 56 pag, eBook ISBN 9780367374426.
- [34] Z.Wu, S.A. David, Z. Feng, H. Bei, Weldability of a high entropy CrMnFeCoNi alloy, Scripta Materialia 124 (2016) 81–85.
- [35] Jing Guo, Cong Tang, Glynn Rothwell, Lisa Li, Yun-Che Wang , Qingxiang Yang and Xuejun Ren, Welding of High Entropy Alloys—A Review, Entropy 2019, 21, 431.
- [36] Yiku Xu, Zhiyuan Li, Jianru Liu, Yongnan Chen, Fengying Zhang, Lei Wu, Jianmin Hao and Lin Liu, Microstructure Evolution and Properties of Laser Cladding CoCrFeNiTiAlx High-Entropy Alloy Coatings, Coatings 2020, 10, 373; doi:10.3390/coatings10040373
- [37] L.X. Zhang, J.M. Shi, H.W. Li, X.Y. Tian, J.C. Feng, Interfacial microstructure and mechanical properties of ZrB₂-SiC-C ceramic and GH99 superalloy joints brazed with a Ti-modified FeCoNiCrCu high-entropy alloy, Materials and Design 97 (2016) 230–238.
- [38] Minrui Gao, Development of new High Entropy Alloys for Brazing of NI-Base Superalloys, Master Thesis, 2017, Faculty and the Board of Trustees of the Colorado School of Mines, USA.
- [39] Vicente Sánchez Gálvez, Laura Sánchez Paradela, Analysis of failure of add-on armour for vehicle protection against ballistic impact, Engineering Failure Analysis, Vol. 16, Iss. 6, September 2009, p. 1837-1845.



Revendicări

Ansamblu eterogen multi-component între oțeluri structurale și aliaje cu entropie înaltă destinat realizării blindajelor împotriva penetratoarelor dinamice caracterizat prin aceea că poate fi utilizat ca element de protecție suplimentară și asamblat prin sudare sau brazare pe structura metalică existentă a vehiculelor militare, în vederea asigurării unei protecții sporite a unor zone critice ale vehiculelor blindate (suprafețe unde penetratoarele dinamice pot declanșa explozia, incendierea vehiculului sau lovirea personalului din vehiculele aflate în misiuni de luptă), care poate fi realizat într-o mare diversitate de forme și dimensiuni, cu capacitate de combinare sau suprapunere a plăcilor componente, așezate într-o succesiune care să asigure o reducere graduală a energiei de impact, plăcile mai dure fiind postate în zona de impact iar cele mai tenace la interfața cu structura de prindere a vehiculului, cu posibilitatea predeformării și umplerii spațiului obținut astfel cu spumă densă care să crească efectul de protecție, fiind alcătuit din aliaje cu entropie înaltă din sistemele de aliere AlCoCrFeNi, AlCrFeMnNi și CrFeMoTaTiZr, având rezistență foarte bună la impactul cu penetratoare dinamice, care se pot fabrica prin turnare în forme cu configurație dorită, aliajele putând fi obținute fie în cuptor electric cu inducție în aer sau în vid, fie în instalație de retopire cu arc în vid, proprietățile mecanice de rezistență la compresiune de 1000-2000MPa și duritate de 400-1300HV0.2 putând fi ulterior îmbunătățite prin tratamente termice de omogenizare efectuate la temperaturi între 720 și 800 °C, cu menținere la temperatura maximă între 4 și 72 ore, urmate de răcire în aer sau apă, îmbinarea acestuia putând fi realizată prin sudare WIG cu aliaje având conținut de circa 50%Ni, sudo-brazare WIG sau brazare cu flacără de gaze și material de adaos din aliaje aparținând sistemului 45Cu-25Ag-30Zn, prinderea fiind realizabilă prin cusături continue sau discontinue, direct pe zonele de interes, la interiorul sau exteriorul structurii metalice, fiind posibilă totodată fixarea, refacerea zonelor avariate sau desprinderea acestuia cu ușurință, în funcție de necesități.

Borderou de figuri

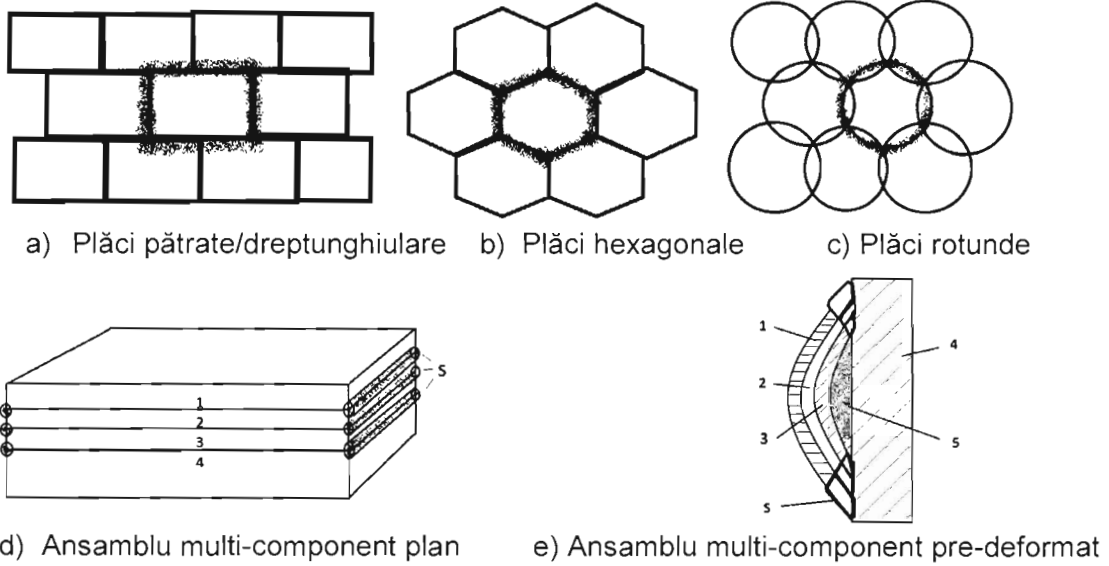
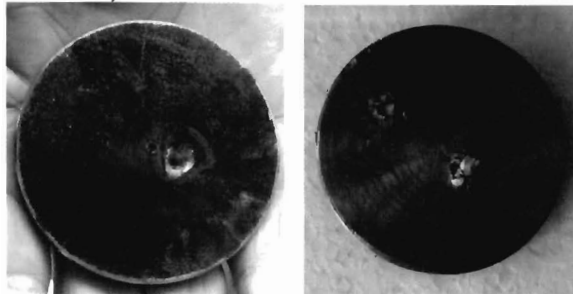


Fig. 1. Forme ale plăcilor de blindaj suplimentar (a, b, c) și modalități de asamblare cu substratul din oțel structural (d, e).

1 – placă din HEA foarte dur (CrFeMoTaTiZr); 2 – placă din HEA dur (AlCoFeMnNi);
 3 – placă din HEA tenace (AlCoCrFeNi); 4 – placă din oțel structural; 5 – spumă densă; S – sudură sau lipitură.



a) Înainte de tratamentul termic



b) După tratamentul termic

Fig. 2. Comportarea la impactul cu proiectil incendiar perforant în diferite stări de procesare.

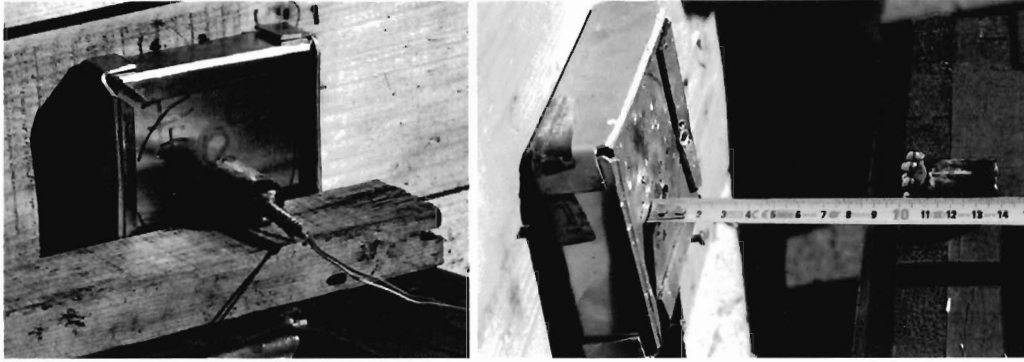
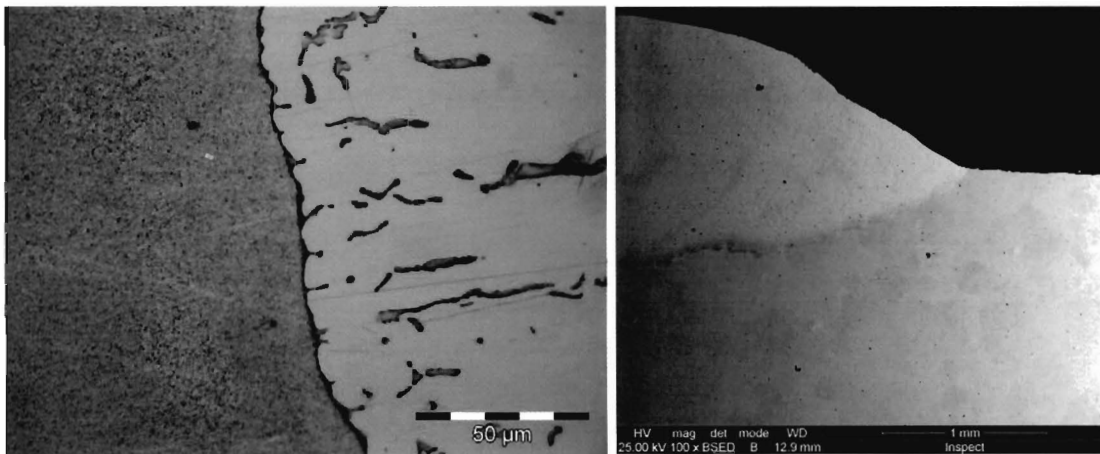


Fig. 3. Teste de impact dinamic prin explozie efectuate pe ansambluri eterogene multi-component.



a)

b)

Fig. 4. Zona de îmbinare între aliajul cu entropie înaltă și materialul de adaos.
a) AlCoCrFeNi + material de adaos cu 50Ni-5Cr-5Co-2Al-38Fe; b) AlCrFeMnNi + material de adaos cu 23Cr9Ni3Mo.

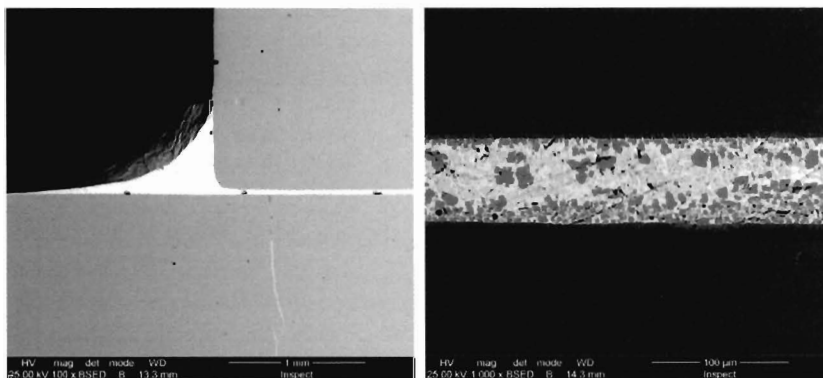


Fig. 5. Aspectul în secțiune transversală a îmbinării brazate între aliajul AlCrFeMnNi și oțel structural S235JR.

Illoicub