



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00682

(22) Data de depozit: 19/09/2017

(41) Data publicării cererii:
30/07/2019 BOPI nr. 7/2019

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA POLITEHNICA
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• CONSTANTINESCU DAN MIHAI,
STR. DR. POLONI VICTOR NR. 17,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;
• VLĂSCEANU DANIEL, STR. TEIULUI
NR.13, TITU, DB, RO;
• BADOI ION, BD.CAMIL RESSU NR.2,
BL.R1, AP.101, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO

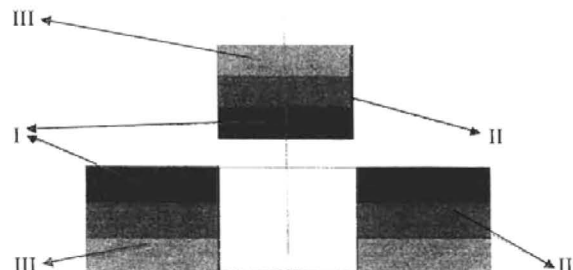
(54) **METODĂ DE FABRICARE DIN MATERIALE COMPOZITE
CU GRADIENT FUNCȚIONAL A MATRIȚELOR
ȘI POANSOANELOR PENTRU ȘTANȚAREA
TABLEI ALIATE CU SILICIU**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de fabricare, din materiale compozite cu gradient funcțional, a matrițelor și poansoanelor utilizate la ștanțarea tablei aliate cu siliciu, în producția de masă a tolelor motoarelor electrice. Metoda de realizare a unei matrițe din material cu gradient funcțional ranforsat cu Al_2O_3 sau cu SiC, conform invenției, are următoarele etape: dozarea pulberilor matricelor, dozarea gravimetrică a carbonului sub formă de grafit, pulbere de cupru și pulbere de stearat de zinc pentru fiecare strat, dozarea gravimetrică a pulberilor de fero-crom și fero-molibden pentru stratul I, dozarea volumetrică a particulelor de Al_2O_3 sau de SiC în proporție de 30%, 20% și 10%, corespunzător straturilor I, II și III, măcinarea în moară cu bile a particulelor dure de Al_2O_3 sau de SiC, amestecarea în amestecător a rețetelor corespunzătoare fiecărui strat, compactarea amestecurilor gradate funcțional, încărcarea în matriță a amestecurilor în ordinea: stratul III, II și I, compactarea la o presiune cuprinsă în intervalul 400...450 MPa, extragerea preformei crude fără disturbarea integrității temperaturii, sinterizarea preformelor într-un cuptor cu atmosferă controlată la o temperatură de 1150°C, timp de 45 min, represarea preformelor sinterizate la o temperatură cuprinsă în intervalul

1050...1100°C și o presiune de 500...600 MPa, urmată de un tratament termic de călire într-un cuptor cu atmosferă controlată la o temperatură de 840...870°C, timp de 30 min, cu răcire în apă, tratament termic de revenire la o temperatură de 250°C, timp de 30 min, și în final un tratament termic de nitrurare ionică la o temperatură cuprinsă în intervalul 400...500°C timp de 5...10 h, în funcție de grosimea stratului nitrurat.

Revendicări: 14
Figuri: 1



17

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2017 00682
Data depozit 19-09-2017

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

Titlu: Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei aliate cu siliciu

Titularul brevetului de invenție: Universitatea Politehnica din București

Domeniul tehnic : Fabricarea matrițelor / poansoanelor din materiale compozite cu gradient funcțional procesate prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor

Producția de piese ștanțate pentru motoarele electrice este o producție de masă și dacă se au în vedere și piesele ștanțate pentru industria autovehicule se poate aprecia că ștanțarea care presupune retezare, decupare, perforare și uneori îndoire sau răsfrângere, este probabil unul din procedeele tehnologice cu cea mai largă aplicare. Statorul și rotorul motoarelor și aparatelor electrice sunt fabricate din tole subțiri procesate prin ștanțarea tablei de oțel aliată cu 3% siliciu.

Tabla silicioasă, cunoscută și sub denumirea de tablă de oțel electrotehnică, din care se confecționează tolele motoarelor electrice este aliată cu siliciu pentru a reduce pierderile de curent prin curenții turbionari. Alierea cu siliciu determină fragilizarea tablei, dar determină și uzura prematură a muchurilor tăietoare ale matrițelor și poansoanelor de decupare și perforare

Tolele magnetice, respectiv precizia formelor și a dimensiunilor au o importanță deosebită în construcția și performanțele motoarelor electrice. Pierderile magnetice în mașini depind atât de calitatea tablei silicioase, cât și de calitatea ștantării și împachetării miezurilor magnetice. Calitatea prelucrării creșturilor și a suprafețelor miezurilor împachetate influențează pierderile tehnologice și consumul de manopera. Valoarea întrefierului la mașinile asincrone (și valoarea "cos φ") este determinată în mare măsură de precizia de ștantare și împachetare a miezurilor astfel că rezistența la uzură a matrițelor și poansoanelor capătă aspecte de o importanță deosebită.

Preocupările în direcția eficientizării fabricației de piese ștanțate pentru motoarele electrice vizează: obținerea de oțeluri electrotehnice slab și mediu aliate, cu pierderi mici prin curenții turbionari, îmbunătățirea calității suprafeței tablei silicioase și micșorarea toleranțelor la grosime, automatizarea și mecanizarea proceselor de ștantare, creșterea preciziei dimensiunilor creșturilor cât și a concentricității conturului tolelor prin creșterea rezistenței la uzură a matrițelor și poansoanelor.

Matrițele și poansoanele pentru ștanțarea tablei silicioase sunt executate de regulă din oțel rapid, din oțeluri înalt aliate cu crom și vanadiu pentru lucru la rece, carburi metalice sinterizate și în ultimii ani din oțeluri P/M. Oțelurile P/M procesate din pulberi metalice datorită omogenității



prin gradarea durtății matricei din pulberi de oțel atomizate și prin gradul de ranforsare descrescător al acestora cu particule dure.

Evoluția graduală a durtății și rezistenței la uzură în plan vertical se dezvoltă în trei straturi stratul I/superior, stratul II / de mijloc și stratul III / inferior. Stratul I în cazul matritelor și poansoanelor pentru ștanțarea tablei texturate aliată cu siliciu este stratul care intră în contact cu tabla care trebuie procesată. Grosimea fiecărui strat este de 10-20 mm.

Metodele prin care se modifică gradual durtatea și rezistența la uzură sunt următoarele:

- utilizare unor matrice din pulberi de oțel cu compoziții chimice diferite prin gradul de prealiere înainte de atomizare, gradul de aliere fiind descrescător de la stratul I spre stratul III
- modificarea graduală a compoziției chimice a matritelor din pulberi de oțel slab aliat prin adăugarea de pulberi de fero-crom și fero-molibden, respectiv de la 3% wt Fe-Cr și 2,5 % wt Fe-Mo pentru stratul I, și 0,75 % wt. Fe-Cr + 0,6 % wt. Fe-Mo pentru stratul III;
- prin variația cantității de carbon sub formă de pulbere de grafit adăugată în matrice în procente de masă descrescătoare de la 1,2 % C pentru stratul I la 0,5% C pentru stratul III.
- prin variația gradului de ranforsare volumică a matricei, strat I ranforsat 30% vol. 20% vol. strat II și 10% vol. strat III;

Ranforsarea matritelor straturilor compozite se face cu particule de carbură de siliciu SiC sau alumină Al₂O₃. Dimensiunile particulelor dure de ranforsare sunt de 10-15 μm.

Pentru asigurarea unor legături puternice la interfața dintre particulele dure de ranforsare și matrice, acestea se acoperă cu pulberea de oțel a matricei prin măcinare într-o moară cu bile.

Rețetele sistemelor compozite aferente straturilor care dezvoltă gradientul funcțional de rezistență la uzură prezentate în FiG 1. sunt următoarele:

-stratul I: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 4600V (0,01 % C; 0,45-0,55 % Mo; 1,70-1,90 % Ni; 0,10-0,20 %) + 1,0-1,2 % wt. C + 3 % wt. Fe-Cr + 2,5% wt. Fe-Mo + 2% wt Cu + 1% wt StZn + 30 vol.% SiC /Al₂O₃;

-stratul II: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) + 0,6-0,8 % wt. C + 1,5 % wt. Fe-Cr + 1,2 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu + 1% wt StZn + 20 vol.% SiC /Al₂O₃;

-stratul III: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) + 0,4-0,5 % wt. C + 0,75 % wt. Fe-Cr + 0,6 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu + 1% wt StZn + 10 vol.% SiC /Al₂O₃;

- prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor care presupun compactarea în matriță a straturilor unor sisteme de pulberi cu schimbarea graduală a compoziției chimice a matricelor, a elementelor adiționate în mixul de pulberi și a gradului de ranforsare cu particule dure.

- compactarea și sinterizarea straturilor matricelor umede depuse prin pulverizare cu schimbări în trepte ale compoziției chimice;

- formarea centrifugala a straturilor cu gradient de ranforsare obținut datorită greutatei specifice diferite a particulelor de ranforsare

Acoperirile PVD se realizează prin bombardarea suprafeței piesei procesate cu un fascicol de ioni al unui metal precursor (titan, crom etc.). Depunerea straturilor de TiN, CrN, TiCN se face într-un cuptor cu vid în care substratul /piesa este încălzită de regulă până la cca 400°C și uneori până la 900°C.

Principalii parametri tehnologici specifici procedurii PVD sunt vidul de 10^{-4} - 10^{-5} Torr, temperatura de încălzire a substratului 300-400°C și lungimea fascicolului de ioni. Suprafața care urmează să fie acoperită este curățată, dezoxidată, degresată și lustruită iar straturile depuse au o grosime medie de 2-5 μm , grosimea maximă a stratului/straturilor inclusiv cu gradient funcțional fiind de de cca. 25 μm .

Cu toate că au cunoscut o dezvoltare deosebită, în prezent se apreciază că utilizarea în industrie a tehnologiilor bazate pe depunerile fizice (PVD) sau chimice (CVD) în fază de vapori este redusă în raport cu domeniul deosebit de larg al aplicațiilor posibile în special datorită fisurării și exfolierii straturilor dure uneori după un timp redus de lucru, atunci când se depășește forța critică de adeziune a stratului de material suport, prețului de cost al echipamentelor și al mentenanței acestora pretului de cost al manoperei unui personal de înaltă calificare.

Deși punerea în practică a acestor tehnologii nu este o operație deosebit de dificilă, reușita ei depinde în egală măsură de utilizarea unor echipamente tehnologice performante și scumpe, de efectuarea unor cercetări preliminare pe grupe de materiale de depunere ca urmare a diferențelor între proprietățile fizico-chimice ale substratului și a straturilor depuse, de pregătirea suprafețelor suportului cât și de asigurarea și controlul condițiilor de lucru corespunzătoare.

Prezenta Cerere de invenție se referă la o metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matricelor și poansonelor pentru ștantarea tolelor din tablă texturată aliată cu siliciu utilizată la construcția tolelor motoarelor electrice. Gradientul funcțional de rezistență la uzură se obține prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor și este dezvoltat în plan vertical



adiționate în matrice presupun proiectarea rețetelor mixurilor compozite, gradientele microstructurale generate de mixul a mai multor pulberi care formează oțeluri hibride cu microstructuri aferente proporțiilor volumice a pulberilor, gradientele de ranforsare volumică sau gradientele generate de dimensiunile particulelor de ranforsare a matricei care se obțin prin scăderea treptată a gradului de ranforsare cu particule de carburi 30%, 25%, 20 %, 15 % până la 0 % sau scăderea treptată a dimensiunilor 45 μm , 30 μm , 25 μm până la 5/10 μm .

Particulele de ranforsare folosite pentru procesarea prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor a materialelor compozite MMCs și a materialelor compozite cu gradient funcțional FGCM sunt: carbura de wolfram WC, carbura de titan TiC, carbura de vanadiu VC, carbura de niobiu NbC, alumina Al_2O_3 .

Este indicat ca dimensiunile particulelor dure de ranforsare a matricei să fie de 10-15 μm deoarece dimensiunile mai mari ale carburilor sunt specifice oțelurilor rapide elaborate prin topire și practic dimensiunile mai mari reduc reziliența, rezistența la îndoire dar și rezistența la uzură adică proprietățile prin care oțelurile rapide P/M sunt superioare oțelurilor rapide elaborate prin topire.

Alegerea în general a naturii carburilor de ranforsare a materialelor MMCs și FGCM destinate aplicațiilor industriale care necesită rezistență la uzură și în special în cazul matrițelor și poansonelor se face în funcție de duritate, modul de elasticitate, rezistență la compresiune și nu în ultimul rând de prețul de cost al particulelor dure de ranforsare care influențează considerabil prețul final al materialului MMCs sau FGCM.

Duritatea carburii de titan TiC este de 3200 HV iar a carburii de wolfram WC este de 1550 HV. În schimb proprietățile de rezistență la rupere 344 MPa, rezistență la compresiune 2682 MPa și modul de elasticitate 664 Gpa ale WC sunt mai mari decât cele ale TiC, rezistență la rupere 258 MPa, compresiune 2500 MPa și modul de elasticitate 448 Gpa.

Actualmente materialele FGM sunt procesate prin mai multe metode dintre care cele mai răspândite sunt :

- sinterizarea cu laser a straturilor depuse prin pulverizare;
- depunere de straturi dure subtiri 2-5 μm prin depunere fizică de vapori (Physical Vapour Depositon-PVD) prin activare termică, activare în plasmă, activare cu laser;
- depunere chimică de vapori (Chemical Vapour Deposition-CVD) prin evaporație termică, asistată de plasmă.



forjare, matrișare, represare la cald a componentelor mecanice cu caracteristici mecanice ridicate și rezistență la uzură similare oțelurilor elaborate prin topire.

Tehnologiile P/M (Powder Metallurgy) au un potențial inovativ deosebit de ridicat, o confirmare în acest sens fiind materialele Compozite cu Matrice Metalică, (Metal Matrix Composites-*MMCs*), Materialele cu Gradient Funcțional (Functionally Gradient Material-*FGM*) și Materialele Compozite cu Gradient Funcțional (Functionally Gradient Composite Material-*FGCM*). Aceste grupe de materiale specifice, metalurgiei pulberilor au datorită proprietăților complexe și unice aplicații în industria aerospațială, de apărare, automobile, energie, senzori, optoelectronică, medicină, sport etc

Materiale compozite cu matrice metalică Ferro-Titanit sunt unele dintre cele mai cunoscute materiale cu proprietăți de rezistență la uzură utilizate pentru procesarea matrișelor și poansoanelor solicitate la uzură abrazivă intensă. Matricele din pulberi de oțel ale materialelor compozite Ferro-Titanit C-Spezial (0,65 % C; 3,0% Cr; 3,0 Mo) și Ferro-Titanit WFN (0,75% C, 15,5 % Cr, 3,0 Mo) sunt ranforsate cu cu 33% vol. particule de carbură de titan TiC.

Materialele cu gradient funcțional *FGM* și materialele compozite cu gradient funcțional *FGCM* se deosebesc de oțelurile convenționale sau de materialele compozite ranforsate în întregul volum, prin variația compoziției chimice a matricei din pulberi metalice pe o direcție prestabilită.

Corespunzător schimbării graduale sau în straturi a compoziției chimice a pulberilor, se modifică și microstructura astfel că de la proprietăți de rezistență la coroziune dispuse pe o suprafață, treptat se poate ajunge la suprafața opusă caracterizată prin proprietăți de rezistență la uzură sau scut termic.

Conceptul de materialelor cu gradient funcțional a apărut în Japonia în anul 1984, când în cadrul unui proiect aerospațial a fost realizat un material cu o grosime de 10 mm utilizat ca bariera termică pentru temperaturi mai mari de 900°C. Materialele *FGM* procesate prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor sunt materiale constituite din mai multe straturi ale căror nixuri au o evoluție graduală a fracțiilor volumice/masice a constituentilor astfel încât dispar interfețele între straturi, iar modificarea proprietatilor se face gradual.

Tehnologiile specifice Metalurgiei Pulberilor (M/P) permit dezvoltarea mai multor tipuri de gradient: gradientele de porozitate care sunt generate de dimensiunile și formele diferite ale particulelor de pulbere/pulberi ce constituie matricea sau prin utilizarea unor presiuni diferite de compactare, gradientele microstructurale generate de elementele sub formă de pulberi



compoziției chimice, uniformității distribuției și marimii carburilor metalice primare, sunt caracterizate prin proprietăți de rezistență la uzură superioare oțelurilor de scule convenționale.

Datorită rezistenței la uzură, oțelurile procesate din pulberi de oțel de scule pentru lucru la rece sunt utilizate tot mai insistent pentru procesarea matrițelor și poansoanelor. Astfel, oțelurile rapide fabricate de Bohler Uddeholm au o rezistență la uzură deosebită conferită de compoziția chimică dintre care cele mai folosite sunt oțelul P/M, S290 *Microclean*, (2,0 % C; 3,8 % Cr; 2,5 % Mo; 5,1 % V; 14 % W; 11% Co; 0,3% Mn; 0,5 % Si) și oțelul P/M S 390 *Microclean* (1,64% C; 4,8 % Cr; 2.0 Mo; 4.8% V; 10,4%W; 8.0 % Co; 0,60 Si; 0,30 Mn). Oțelul P/M, S 693/692 *Microclean* este similar mărcii de oțel PM, M4 (1,45 % C; 4,0 % Cr; 5.60 % W; 5.25 % Mo. 4,0 % V) și este a treia generație de oțeluri procesate din pulberi metalice caracteristici excepționale de omogenitate chimică și grad de rafinare a carburilo. Aceste oțeluri sunt procesate prin presare izostatică la cald HIP și sunt lipsite practic de porozitate.

Oțelurile CPM1V (0,55% C; 4,0 % Cr; 5,60 % W; 5,25 % Mo; 4.0 5 V), CPM 10 sau CPM REX 76 (1,50 % C; 8,50 % Co; 3,75% Cr; 5,25 5 Mo; 3.1% V; 9,75 % W) sunt similare otelului rapid T15 fabricate de firma DIEHEL HITACHI, filială a firmei HITACHI în SUA Aceste oțeluri sunt folosite pentru fabricarea matrițelor, poansoanelor sau a altor componente care sunt solicitate la uzură abrazivă intensă.

Oțelurile P/M de scule fabricate de firma DORRENBURG sunt de asemenea o clasă de oțeluri apreciată pentru rezistența la uzură. Mărcile PMD M4 (1.35 % C, 4,20 % Cr, 4,50 mo, %,80 W 4,0 % V) și PMD15 , au compoziție chimică similară oțelurilor rapide M4 și T15.

Tratamentul termic de călire revenire al acestor oțeluri P/M asigură proprietățile de rezistență la uzură, vizează obținerea unor durități cuprinse între 60-65 HRC și este similar cu cel ale oțelurilor de scule din oțel rapid. În principiu tratamentul de durificarea a matricei presupune austenitizare la 1140-1240 °C în cuptor cu vid sau atmosferă controlată, răcire în ulei sau baie de săruri la 550-600°C, urmată de trei cicluri de revenire la temperatura de 550-600 °C/1h/20 mm sau cel puțin 2h.

Pulberile de oțel slab aliat din clasa Ancorsteel au fost special proiectate de firma HOEGANAES SUA, pentru a fi procesate prin sintermatrițare sau repesare/forjare la cald.

Pulberile de oțel Ancorsteel 2000 și Ancorsteel 4600V sunt fabricate în România la SC Hoeganaes Corporation Europe SA Buzău și sunt utilizate pentru fabricarea prin sinterizarea și



Componentele fiecăruia din sistemele compozite de mai sus se amestecă într-un amestecător specific fabricației de piese sinterizate având grijă să se poată identifica rapid rețeta fiecaruia.

Incarcarea în matriță a straturilor aferente fiecărui sistem compozit începe cu stratul III, se continuă cu stratul II și la final se încarcă stratul I. Matrița utilizată pentru compactarea simultană a straturilor va permite reglarea volumului de încărcare pentru fiecare strat.

Compactarea sistemelor compozite care dezvoltă gradientul funcțional se face la o presiune de 400-450 MPa. La extracția preformelor crude din matriță se va acorda o atenție deosebită manipulării acestora pentru a nu se distruge.

Sinterizarea preformelor crude se face în cuptor cu atmosferă controlată.

Preformele crude ale matrițelor și poansonelor ranforsate gradat cu carbură de siliciu se sinterizează în atmosferă controlată la temperatură de 1000-1050°C. Peste 1050°C carbura de siliciu SiC reacționează chimic cu matricea de oțel și formează compuși chimici cu duritate mare dar și de dimensiuni care pot afecta tenacitatea matricei. Datorită reactivității carburii de siliciu cu matricele din pulberi de oțel acest material cu proprietăți deosebite dar și deosebit de avantajos ca preț în comparație cu carbura de wolfram WC sau carbura de titan TiC, a fost utilizat exclusiv pentru ranforsarea materialelor compozite cu matrice de aluminiu sau aliaje de titan. Utilizarea carburii de siliciu SiC pentru prima dată ca element de ranforsare a unei matrice de oțel cu condiția sinterizării la o temperatură mai mică de 1050°C, fără afectarea densității relative finale a pieselor procesate este una din revendicările acestei cereri.

Preformele matrițelor și poansonelor ranforsate cu particule de alumină. Al_2O_3 se sinterizează la temperatura de 1100-1150°C.

De la temperatura de sinterizare atât preformele ranforsate cu SiC cât și preformele ranforsate cu Al_2O_3 sunt represate la cald la o presiune de 500-600 MPa. Pentru evitarea unei noi încălziri, preformele sinterizate sunt scoase din cuptor de la temperatura de sinterizare și se introduc în matrița de represare. Temperatura de represare nu va fi mai mică de 900°C. Această operație de represare elimină porozitățile și face posibilă practicarea sinterizării la temperatura de 1000-1050 °C, și nu la temperatura de 1150°C.

Pentru obținerea unei durități care să asigure o rezistență la uzură corespunzătoare matrițele și poansoanele sunt tratate termic prin călire care constă în încălzire în atmosferă controlată la temperatura de 840-870°C și răcire în ulei/apă, urmată de revenire la 250°C/30 min.



Pentru durificarea suplimentară a suprafețelor active de decupare și perforare matrițele și poansoanele se tratează termic prin nitrurare ionică la 400-500°C/5-10 h.

Avantajele prezentei invenții în raport cu stadiul tehnicii în fabricarea matrițelor și poansoanelor sunt următoarele:

- creșterea duratei de viață de doua-trei ori a matrițelor și poansoanelor procesate din materiale FGCM cu matrice din pulberi de oțel slab/mediu aliate comparativ cu rezistența la uzură și fiabilitatea gradientelor funcționale dezvoltate prin metodele PVD și CVD;

- creșterea duratei de viață de doua-trei ori a matrițelor și poansoanelor procesate din materiale FGCM cu matrice din pulberi de oțel slab/mediu aliate comparativ cu rezistența la uzură și fiabilitatea oțelurilor rapide elaborate prin topire și fiabilitatea carburilor metalice sinterizate;

- reducerea costurilor de fabricație a matrițelor și poansoanelor de la 3 pana la 10 ori prin eliminarea costurilor ridicate specifice pulberilor de oțel rapid sau pulberilor de oțel înalt aliate utilizate la fabricarea oțelurilor P/M pentru scule de lucru la rece și practicarea costurilor aferente pulberilor de oțel slab slab aliate utilizate ca matrice pentru matraiele FGCM

- reducerea considerabilă a costurilor de fabricație a matrițelor și poansoanelor din materiale FGCM prin utilizarea unor matrice din pulberi de oțel slab aliat sau matrice hibride respectiv prin utilizarea carburii de siliciu SiC sau a aluminei Al₂O₃ caracterizate prin prețuri deosebit de atractive în condițiile unor proprietăți de rezistență la uzură cvasi similare cu cele ale carburii de wolfram WC sau carburii de titan TiC.

- posibilitatea utilizării unor utilaje convenționale, a unei forțe de muncă mediu calificată și a existenței unor condiții de micro-mediu prietenos.

- creșterea productivității fabricației matrițelor și poansoanelor procesate din FGCM deoarece tehnologiile specifice metalurgiei pulberilor permit obținerea la forma finală sau aproape de forma finală, fără a mai fi necesare prelucrări mecanice ale acestora.

În Fig 1 este prezentat modul de dezvoltare a gradientului funcțional pe direcție verticală și amplasarea straturilor I, II și III în cazul matriței amplasat în partea de jos a Fig.1 și respectiv poansonului amplasat în partea superioară a acesteia.

Revendicări

1. Metodă de fabricare a materialelor compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase caracterizată prin aceea că gradientul funcțional se dezvoltă în plan vertical astfel încât straturile cu duritate și rezistență la uzură să fie dezvoltate pe



Exemplul 1 de realizare a inveției revendicate

Realizarea unei matrițe din material cu gradient funcțional ranforsat cu alumină Al_2O_3 pentru ștanțarea tablei aliate cu siliciu folosită la fabricare motoarelor electrice presupune următoarele operații tehnologice:

1. Dozarea pulberilor matricelor;

1.1. Dozarea gravimetrică /cântărirea pulberii matricei și a elementelor sub formă de pulberi adăugate în matrice: carbonul sub formă de pulbere de grafit, pulbere de cupru, pulbere de stearat de zinc pentru fiecare strat;

1.2. Dozarea gravimetrică / cântărirea pulberilor de fero-crom și fero-molibden pentru stratul I;

1.3. Dozarea volumetrică a particulelor de alumină Al_2O_3 în proporție de 30% , 20% și 10 % corespunzător straturilor I, II și III;

2. Măcinarea în moară cu bile a particulelor dure de Al_2O_3 și a pulberii de oțel a matricei;

3. Amestecarea în amestecător a rețelor mixurilor aferente fiecărui strat:

3.1. Rețeta stratului I: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 4600V (0,01 % C; 0,45-0,55 % Mo; 1,70-1,90 % Ni; 0,10-0,20 %) + 1,0-1,2 % wt. C + 3 % wt. Fe-Cr + 2,5% wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 30 vol.% Al_2O_3 ;

3.2. Rețeta stratului II: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) +0,6-0,8 % wt. C + 1,5 % wt. Fe-Cr + 1,2 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 20 vol.% Al_2O_3 ;

3.3. Rețeta mixului stratului III: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) + 0,4-0,5 % wt. C + 0,75 % wt. Fe-Cr + 0,6 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 10 vol.% Al_2O_3 ;

4. Compactarea mixurilor gradate funcțional;

4.1. Încărcarea în matrită a mixurilor în ordinea stratul III, II și I;

4.2. Compactarea la presiunea de 400-450 MPa;

4.3. Extragerea preformei crude fără distruberea integrității °C;

5. Sinterizare preformelor: cuptor cu atm. controlată la temepratura de 1150°C / 45 .min;

6. Represarea preformelor sinterizate: temperatura 1050-1100°C. presiune 500-600 MPa;

7. Tratament termic de călire: cuptor cu atm controlată, temp. 840-870 °C/30 min. ;

răcire în apă;

8. Tratament termic de revenire: temperatura 250°C / 30 min. ;

9. Tratament termic de nitrurare ionică: 400-500 °C / 5-10 h funcție de grosimea stratului nitrurat

Exemplul 2 de realizare a inveției revendicate

Realizarea unei matrițe din material cu gradient funcțional ranforsat cu carbură de siliciu SiC pentru ștanțarea tablei aliate cu siliciu folosită la fabricare motoarelor electrice presupune următoarele operații tehnologice:

1. Dozarea pulberilor matricelor;

1.1. Dozarea gravimetrică /cântărirea pulberii matricei și a elementelor sub formă de pulberi adăugate în matrice: carbonul sub formă de pulbere de grafit, pulbere de cupru, pulbere de stearat de zinc pentru fiecare strat;

1.2. Dozarea gravimetrică / cântărirea pulberilor de fero-crom și fero-molibden pentru stratul I;

1.3. Dozarea volumetrică a particulelor de carbură de siliciu siC în proporție de 30% , 20% și 10 % corespunzător straturilor I, II și III;

2. Măcinarea în moară cu bile a particulelor dure de SiC și a pulberii de oțel a matricei;

3. Amestecarea în amestecător a rețetelor mixurilor aferente fiecărui strat:

3.1. Rețeta stratului I: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 4600V (0,01 % C; 0,45-0,55 % Mo; 1,70-1,90 % Ni; 0,10-0,20 %) + 1,0-1,2 % wt. C + 3 % wt. Fe-Cr + 2,5% wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 30 vol.% SiC;

3.2. Rețeta stratului II: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) +0,6-0,8 % wt. C + 1,5 % wt. Fe-Cr + 1,2 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 20 vol.% SiC;

3.3. Rețeta mixului stratului III: matrice din pulbere de oțel slab aliat din clasa A 2000 (0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn) + 0,4-0,5 % wt. C + 0,75 % wt. Fe-Cr + 0,6 % wt. Fe-Mo + 2% wt Cu+ 1% wt StZn + 10 vol.% SiC;

4. Compactarea mixurilor gradate funcțional;

4.1. Încărcarea în matrită a mixurilor în ordinea stratul III, II și I;

4.2. Compactarea la presiunea de 400-450 MPa;

4.3. Extragerea preformei crude fără distruberea integrității °C;

5. Sinterizare preformelor: cuptor cu atm. controlată la temperatura de 1000-1050°C / 45 min;

6. Represarea preformelor sinterizate: temperatura 900-950 °C, presiune 500-600 MPa;

7. Tratament termic de călire: cuptor cu atm controlată, temp. 840-870 °C/30 min. ;
răcire în apă;

8. Tratament termic de revenire: temperatura 250°C / 30 min. ;

9. Tratament termic de nitrurare ionică: 400-500 °C / 5-10 h funcție de grosimea stratului
niturat



Bibliografie**Brevete**

- /1/ JP2008069052A / 2008 Functionally gradient material and method of manufacturing the same
- /2/ JP H07310103A / 1995, Production of functionally gradient material by powder metallurgy
- /3/ US4751099 / 1988, Method of production of Functionally Gradient Material
- /4/ US20140131050A1 /2006 Method of making and using of functionally gradient composite tool.

Articole și publicații

- /1/ J.Y. Hascoet, P. Muller, Manufacturing of Complex Parts With Continuous Functionally Graded Materials; Institut de Recherche en Communications et Cybernetique de Nantes; Aug. 2011.
- /2/ Isha Bharti, Nishu Gupta, Novel Applications of Functionally Graded Materials. IJM:Vol.1, 2013
- /3/.L.A. Dobrzański , A. Kloc, Effect of carbon concentration on structure and properties of the gradient tool materials; Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering;Vol. 17. August 2006.
- /4/ Kalathur S.Narasimhan, Frederick J.Semel Sintering of powder premixes a brief overview NJ 08077 2007
- /5/ François Chagnon and Lydia Aguirre A New Approach to Lean Alloy PM Steels, Confer. in Chicago;2013
- /6/ F. Castro, S. Sainz, A. Viega, A. The Master Alloy Concept and its Consequences", JPMA, 2012.
- /7/ W. Brian James and K. S. Narasimhan Warm Compaction and Warm-Die Compaction of Ferrous PM Materials; Hoeganaes Corporation, Cinnaminson, NJ, USA
- /8/ M.Madej Phase reactions during sintering of M3/2 based composires with WC. AMM 2013
- /9/ Samsiah Abdul Manaf, Ahmad Aswad Mahaidin, A sudy on sinte behavior and mech. Proper. of high steel powder to PM route. Solid State Science and Technology, Vol. 19, 2011
- /10/ Talachia , S.,J Amador, J.J. Urcola Novel high speed steels sintering below 11500C. Metal powder Report June 1995
- /11/ Bolton,J. D. Modern development in sintered high speed steel. MPR Jan.1996



- /12/ L.A. Dobrzański, A. Kloc-Ptaszna*, Fabrication methods and heat treatment on structure and properties of the gradient tool materials. AMSE.July 2011.
- /13/ K. Lukaszewicz, A. Kriz, J. Sondor, Structure and adhesion of thin coatings deposited by PVD technology on the X6CrNiMoTi17-12-2 and X40CrMoV5-1 steel substrates. Archive of Materials Science and Engineering, Vol 51, Sept. 2011.
- /14/ J. M. Arroyo, A. E. Diniz, Wear performance of laser precoat treated cemented carbide milling tools, Wear 268 (2010) 1329–1336
- /15/ Maroš Martinkovič, Daniel Kottfer, The effect of the substrate position on mechanical and tribological behavior of Ti coatings deposited by PVD technique, grant ZIHLAV 11- 01- VL04-00/2001
- /16/**Ion implantation, PVD and CVD and their effects on bal™ seal performance, Technical Report TR-24 (Rev. B; 05-07-02), Bal Seal Engineering.
- /17/ Ping Lu, Humberto Gomez, Coating thickness and interlayer effects on CVD-diamond film adhesion to cobalt-cemented tungsten carbides, Surface & Coatings Technology 215 (2013)
- /18/ Chris Schade, Tom Murphy, Microstructure and mechanical properties of a bainitic PM steel, The World Congress of MPIF on Powder Metallurgy and Particular Materials, 2015 San Diego.
- /19/ H G. Rutz, F. G. Hanejko, High density processing of high performance ferrous materials, International Conference & Exhibition on powder metallurgy & Particulate materials may 8-11, 1994 - Toronto, Canada

Site-uri de specialitate

- /1/ www.hoganas.com
- /2/ http://www.bucorp.com/media/Bohler_S290_06.2005.pdf
- /3/ <http://www.hudsonsteel.com/technical-data/steel1V>
- /4/ <http://www.doerrenberg.de/en>
- /5/ <https://www.dew-stahl.com/en/products/special-materials/ferro-titanit/>



1. Metodă de fabricare a materialelor compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase caracterizată prin aceea că gradientul funcțional se dezvoltă în plan vertical astfel încât straturile cu duritate și rezistență la uzură să fie dezvoltate pe suprafețele care decupează sau perforază tabla iar straturile tenace pe suprafețele opuse pentru a permite preluarea șocurilor;

2. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că gradientul funcțional dezvoltat în plan vertical este generat de straturile I, II și III cu grosimi de 10-20 mm, în funcție de înălțimea matriței respectiv poansonului;

3. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 2 caracterizată prin aceea matrița stratului I este o pulbere de oțel comercial slab aliat care conține 0,01 % C; 0,45-0,55 % Mo; 1,70-1,90 % Ni; 0,10-0,20 % Mn în care se adăunează în procente de greutate/masă feroaliaje sub formă de pulberi, respectiv 3% wt pulberi de Fe-Cr și 2,5% wt. pulberi de Fe-Mo cu dimensiuni granulometrice medii de 45 μm, iar matrița straturilor II și III este o pulberea de oțel care conține 0,01 % C; 0,50-0,70 % Mo; 0,4-0,5 % Ni; 0,2-0,3 % Mn;

4. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 3, caracterizată prin aceea că mixurile matrițelor generează proprietăți gradate duritate prin procentul de carbon sub formă de grafit adițioant în matrițele sistemelor compozite astfel, în matrița stratului I se adăunează 1,0-1,2 % C în matrița stratului II se adăunează 0,6-0,8 % C iar în matrița stratului III se adăunează 0,4-0,6 % C;

5. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 4, caracterizată prin aceea că pentru ranforsarea matrițelor straturilor I-III se utilizează alumină calcinată Al_2O_3 sau carbură de siliciu SiC în proporții volumice gradate după cum urmează, strat I ranforsat cu 30% vol particule dure, strat II ranforsat cu 20% vol. și strat III ranforsat cu 10% vol.;

6. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 5, caracterizată prin aceea că, particulele dure de ranforsare sunt măcinate împreună cu pulberea matriței în moară cu bile până la acoperirea acestora cu o peliculă de pulbere de oțel care asigură reducerea formelor ascuțite, colturoase respectiv favorizează creșterea legăturilor la interfața dintre matrițe și particulele dure de ranforsare;

7. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 6 caracterizată prin aceea că pentru a nu afecta caracteristicile mecanice ale matricei dimensiunile particulelor de ranforsare vor fi cuprinse între 10-15 μm ;

8. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 7 caracterizată prin aceea că fiecare mix al sistemelor compozite aferente straturilor I, II și III se amestecă în amestecătoare bitronconice.

9. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 8 caracterizată prin aceea că sistemele compozite ale straturilor I-III sunt încărcate succesiv și compactate simultan la 400-450 MPa într-o matriță care permite reglarea volumului util de încărcare prin ridicarea matriței;

10. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 9 caracterizată prin aceea că în cazul ranforsării straturilor materialului FGCM cu carbură de siliciu SiC, sinterizarea se face în cuptor cu atmosferă controlată la temperatura de 1000-1050 $^{\circ}\text{C}$,

11. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 10 caracterizată prin aceea că în cazul ranforsării straturilor materialului FGCM cu alumină Al_2O_3 , sinterizarea se face în cuptor cu atmosferă controlată la temperatura de 1100-1150 $^{\circ}\text{C}$;

12. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 10, caracterizată prin aceea că de la temperatura de sinterizare preformele sinterizate sunt repesate la presiuni de 500-600 MPa astfel încât densitatea relativă are valori similare densității teoretice;

13. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 12, caracterizată prin aceea că tratamentul termic de călire se realizează prin încălzire în cuptor cu atmosferă controlată la temperatura de 840-870 $^{\circ}\text{C}$ și răcite în ulei sau apă;

14. Metodă de fabricare din materiale compozite cu gradient funcțional a matrițelor și poansoanelor pentru ștantarea tablei silicioase conform revendicării 13, caracterizată prin aceea că suprafețele active care sunt nitrurate ionic la 400-500 $^{\circ}\text{C}$ pe grosimi de 0,10-0,30 mm:



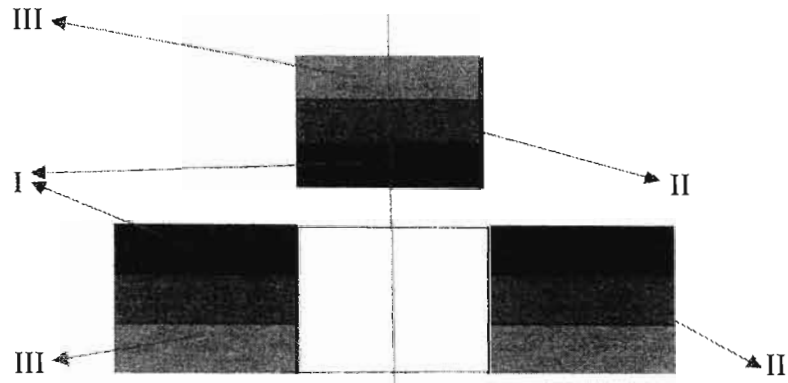


Fig.1 Matriță și poanson pentru șantarea tablei texturate aliate cu siliciu procesate din materiale compozite cu gradient funcțional