



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2017 00034

(22) Data de depozit: 20/01/2017

(41) Data publicării cererii:
30/07/2018 BOPI nr. 7/2018

(71) Solicitant:
• METAV -CERCETARE DEZVOLTARE
S.R.L., STR.C.A.ROSETTI NR.31, SC.2,
ET.2, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• BUZĂIANU AURELIAN, STR. EPISCOPUL
ILARION NR. 5, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;

• MOȚOIU PETRA,
STR. GHEORGHE BARIȚIU NR. 38, SC. 1,
ET. 2, AP. 6, SECTOR 1, BUCUREȘTI, B,
RO;
• CSAKI IOANA, BD. THEODOR PALLADY
NR. 5, BL. X4, AP. 10, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ DE OBTINERE A STRATURILOR METALICE DE TIP
MULTICOMPOZIT PENTRU PROTECȚIA ARBORELUI
ROTORIC ȘI DIAFRAGMELOR TURBINELOR GEOTERMALE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de obținere a straturilor metalice de tip multicompozit, depuse pe arborii rotorici, pe discuri și pe diafragmele care alcătuiesc turbinele geotermale, protejându-le contra eroziunii, ceea ce determină creșterea fiabilității și, implicit, prelungirea duratei de exploatare a turbinelor, metoda putând fi utilizată și pentru remanierea sau recondiționarea componentelor uzate. Metoda conform invenției conține în sortarea, dozarea și amestecarea mecanică într-o moară planetară cu bile a unor elemente metalice pe bază de Cr, Ni, Ta, Nb, Mo, W, Si, Al și B pentru obținerea unor amestecuri de pulberi compozite, depunerea primului strat compozit cu grosimea cuprinsă între 100...150 μm, pe bază de pulberi Cr - Ni microaliate cu mici cantități de 3...5% Ta sau Ni cu 0,5% Fe, max. 0,3% Si, max. 0,1% K și 5% B, utilizând un procedeu de depunere prin pulverizare cu plasmă în flux de oxigen la viteze supersonice HVOF, urmată de depunerea celui de-al doilea strat, cu grosimea cuprinsă între 300...700 μm, realizat prin pulverizare termică APS, și poate fi format din:

a. pulberi micronice de Ni-Cr, care au fost obținute prin atomizare și au capacitatea de a încorpora 15% pulberi de aliere pe bază de WC - 5Co sau WC - 5Mo,

b. pulberi de WC amestecate cu produse nanostructurate sinterizate de 100...600 nm din WC - Co la care se adaugă pulberi micronice de 5...10% Co și 5...7% CTa sau CNI,
c. pulbere micronică din oxid de Al,
d. pulbere micronică de tip sinel MgO Al₂O₃,
e. pulbere micronică de tip multil 3Al₂O₃ 2SiO₂,
f. pulbere micronică de tip cordierit 2MgO 2Al₂O₃ 5SiO₂.

Revendicări: 7

Figuri: 6

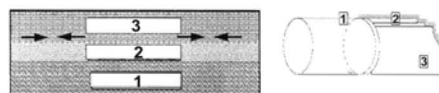
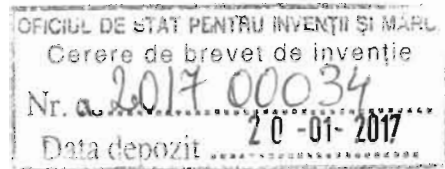


Fig. 5



18



Cerere de brevet de invenție

Metodă de obținere a straturilor metalice de tip multicompozit pentru protecția arborelui rotoric și diafragmelor turbinelor geotermale

DESCRIEREA INVENȚIEI

Stadiul actual

În centralele geotermale procesul de coroziune și eroziune care se manifestă asupra principalelor componente ale turbinelor, depinde de entalpia aburului geotermal (temperatura aburului), presiune, compoziția chimică, de impuritățile purtate de vaporii de apă geotermală și de tratarea acestora (distribuția care se stabilește între vaporii, filmul de suprafață și materialul paletelor, de proprietățile de transfer de căldură ale oțelului din care sunt construite paletele, etc). În ciuda efortului și a progreselor ce se desfășoară la nivel mondial pentru creșterea duratelor de funcționare, încă apar probleme cu privire la integritatea turbinelor geotermale, una dintre cele mai mari fiind coroziunea. Distrugerile datorate coroziunii turbinelor geotermale, în principal ale rotoarelor, discurilor și diafragmelor ce alcătuiesc turbina, au fost de mult timp identificate și recunoscute ca fiind cauze principale de reducere a funcționalității centralelor electrice. În scopul de a crește fiabilitatea componentelor turbinelor geotermale este important să se evalueze și să se prelungească durata de viață a materialelor ce funcționează în condiții de mediu geotermal.

Cele mai frecvente probleme de coroziune din turbină apar ca urmare a conținutului mare de gaze necondensabile din aburul geotermal în care regăsim:

- un conținut ridicat H_2S care generează probleme metalurgice, cum ar fi coroziunea, tendința spre friabilitate și oboseală a oțelului, ceea ce conduce la cedarea turbinei;
- un conținut de CO_2 ridicat în lichidul geotermal și care la aproximativ $200^\circ C$ accelerează formarea calcitului, care conduce la o puternică coroziune a componentelor turbinei;
- depunere de sulf ca urmare a conținutului ridicat de gaze ce se regăsesc în componența aburului geotermal de bază;
- coroziunea produsă din cauza pH scăzut și a unui conținut variabil de oxigen în componentele ce se vehiculează odată cu aburul geotermal.

Conținutul și compoziția componentei solide variază; în mod normal se regăsesc diferite tipuri de cloruri și diverse elemente, cum este spre exemplu fluidul geotermal cu flor sau cu bor. Apar astfel valori ce tind și la $130g/kg$ ($130.000ppm$), cel mai mare conținut de element fiind cel de clorură de sodiu. Spre exemplu în Islanda, conținutul total de solid dizolvat este de aproximativ $30g/kg$ respectiv ($30.000ppm$) și se regăsește în zona Svartsengi [1], iar conținutul de gaze al rezervoarelor geotermale este substanțial așa cum se prezintă în Tabel nr.1.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



Tabel nr.1. Exemple de compoziții chimice ale gazelor necondensabile din sistemele curente de rezervoare geotermale de medie și înaltă entalpie cu utilizare în centrale geotermale (Islanda).

Rezervor geotermal (funcție de zonele de extracție)	Presiune [atm]	H ₂ O [%]	CO ₂ [%]	H ₂ S [%]
Reykjanes	10,0	99,30	0,672	0,019
Svartsengi	5,5	99,80	0,196	0,003
Hveragerdi	5,5	99,84	0,138	0,006
Bjarnarflag	11,0	99,70	0,060	0,060
Krafla	8	98,70	1,140	0,070

Ca urmare a aspectelor prezentate, problemele cele mai grave care apar în centralele electrice geotermale se datorează coroziunii accentuate a rotoarelor și diafragmelor turbinei ca rezultat al conținutului de agenți corozivi existenți în aburul geotermal utilizat [2]. Acești componenți de impurificare ai aburului, induc în materialele utilizate pentru construcția componentelor turbinei în principal: eroziunea și coroziunea oțelurilor, oboseală sub tensiune corozivă, precum și microfisurarea și fracturarea componentelor, datorată fragilizării oțelului ca urmare a prezenței hidrogenului. Totodată au loc și alte efecte ce se produc la scară microscopică și care prin cumulara lor accentuează procesul de degradare și deteriorare a rotoarelor turbinei, ca urmare a acțiunii directe [3] a agenților chimici menționați anterior. În plus apare și coroziunea la cald, care în condiții de abur geotermal poate fi definită ca o coroziune accelerată, ce apare ca rezultat al prezenței contaminanților sub formă de săruri, cum ar fi Na₂SO₄, NaCl, iar oxizii precum V₂O₅ se combină pentru a forma depozite care deteriorează straturile de oxizi de protecție aflați pe suprafața componentelor turbinei. Cu precădere coroziunea la cald are loc atunci când metalele sunt încălzite în intervalul de temperatură 220-350°C, în prezența depozitelor de sulfat formate ca rezultat al reacției dintre clorura de sodiu și compușii de sulfuri din componentele structurilor metalice. La temperaturi mai mari, depozitele de Na₂SO₄ și NaCl în soluții, provoacă atac accelerat în oțelurile cu Ni și Co. Acest tip de atac este o coroziune accelerată ce poate fi cauzată și de existența combinată a altor săruri, sau amestecuri de sulfuri, sau de prezența sărurilor de soluții solide sau lichide asociate cu gazele necondensabile explicitate în Tabel 2.

Tabel.2. Exemple de compoziții chimice pentru gazele necondensabile geotermale la o centrală geotermală - Hellisheiðavirkjun Islanda (Entalpia aburului geotermal este de 170 °C la 6,7 bar).

Gaz necondensabil	H ₂ (mg/kg)	N ₂ (mg/kg)	CH ₄ (mg/kg)	H ₂ S(mg/kg)	CO ₂ (mg/kg)
Turbina 1	31,14	28,85	4,43	804,3	1864,6
Turbina 2	23,78	32,45	6,17	741,9	3087,2
Turbina 3	29,35	22,71	5,05	929,0	2261,8
Turbina 4	23,92	26,74	3,81	634,3	1725,6
Turbina 5	15,92	82,93	7,58	472,5	4687,1

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing. Anghel Ioncea



Din industria aeronautică (*Patent number US2016115818 și US2016115819*) dar și din tehnicile de construcție ale turbinelor agregatelor energetice **este cunoscut faptul că acoperirile ceramice compozite destinate protecției paletelor** sunt acum acceptate [4]. Ele au fost deja introduse și în construcția turbinelor centralele energetice, tocmai cu scopul de a crește fiabilitatea și durata de viață a componentelor turbinelor (*Patent number: GB2007129-A din 1979*). Un alt motiv important pentru perfecționarea acestor tipuri de soluții este și faptul că utilizarea depunerilor în plasmă ca modalitate alternativă de protecție a componentelor de turbină față de agresivitatea fluidului, este în prezent o soluție care practic tinde să se generalizeze (*Patent number: US2001004474-A1*). S-a constatat experimental că procesul de coroziune poate fi încetinit folosind materiale noi, ce au un bun control chimic al acțiunii distructive a aburului geotermal, tocmai prin realizarea unor noi tipuri de suprafețe și materiale reproiectate pentru diversele componente ale turbinelor. Aceste suprafețe de protecție, pot fi obținute folosind materiale de tip multicompozit ce pot fi ceramice sau metalo-ceramice. Ele pot fi utilizate ca straturi de acoperire ale oțelurilor din care sunt construite rotoarele, discurile și diafragmele turbinelor, prevenind astfel coroziunea și abraziunea acestora și furnizând totodată o mai bună fiabilitate pe durata de funcționare a turbinelor geotermale.

Acoperirile prin pulverizare termică și în general acoperirile în plasmă, sunt relativ eterogene, anizotrope, microporoase și conțin microfisuri, indiferent de metoda de pulverizare și materialele folosite, deoarece nu se obține o legare completă prin difuzie între materialului pulverizat și cel de bază. Literatura de specialitate [4] menționează că aderarea particulelor pulverizate are loc, în general printr-o aderență mecanică, concomitent cu fixarea particulelor pe măsura răcirii și contractării lor, precum și prin alte procese de aderență de natură fizică. Legarea prin topire sau prin difuzie poate fi obținută cu un aliaj cu proprietăți de autofuziune sau printr-o acoperire prin pulverizare așa cum se prezintă în soluții ce au fost brevetate (*Patent number: US4029838 - Patent number CN1840737B și EP1707649A2*).

Cele două tehnici la care prezenta invenție face referire pentru obținerea prin depunere a unor straturi multicompozit sunt: **pulverizare cu viteză mare în atmosferă de plasmă termică HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) și tehnica de depunere APS (Atmospheric Plasma Sprayng)**. Ambele tehnici sunt cunoscute și sunt aplicabile separat în tehnologiile de obținere a straturilor de protecție de tip compozit.

Depunerea termică în plasmă prin tehnica HVOF

Din stadiul tehnicii se cunoaște faptul că depunerea prin **tehnica HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)** implică depunerea pulberilor în plasmă în flux de oxigen și la viteze foarte mari. Ca metodă de depunere în plasmă HVOF funcționează pe principiul injecție uniaxiale de pulberi metalice într-un jet de oxigen [5]. Pentru obținerea plasmelor se utilizează drept combustibil unele gaze precum propanul, GPL, propilena. Prin această tehnică pulberile sunt injectate la viteze foarte mari, acestea atingând valori supersonice. În ceea ce privește geometria duzelor, a camerei de ardere, a presiunii și temperaturii; tehnica se remarcă prin faptul că un flux supersonic de gaz și o undă de șoc sonic se formează la ieșirea din duza dispozitivului construit pentru lucru sub forma unui pistol. Cu pistolul HVOF de pulverizare, pulberea fiind injectată axial apare o tendință mai mică de a se forma depuneri neuniforme pe pereții piesei ce urmează a fi acoperită;

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



diferind astfel mult calitativ față de dispozitivele cu injecție radială a pulberilor. Pentru a obține viteze mai mari de preluare și de depunere a particulelor de pulberi, sunt necesare fluxuri de gaze mai mari, și o creșterea substanțială a presiunii la peste 10 atm. Particulele sunt supuse unei creșteri a vitezei și a impactului la contactul cu suprafața substratului și drept urmare are loc un schimb considerabil mult mai mare de energie, comparativ cu depunerea clasică în plasmă sau comparativ cu tehnica de pulverizarea cu flacără din tehnologiile convenționale de tip oxigaz.

Dispozitivul HVOF de înaltă presiune, poate funcționa la presiuni între 10 și 30 atm, cu utilizare de gaz natural și oxigen (caz în care energia necesară pentru lipirea particulelor de fuziune este furnizată de conversia energiei cinetice în energie de impact). În dispozitiv azotul este folosit atât pentru răcire cât și pentru a crește presiunea inversă în duza de ejecție. Se poate afirma că în prezent o multitudine de materiale compozite pot fi pulverizate HVOF pentru o scară largă de compoziții [6]. Acoperiri cu straturi de carburi pot fi obținute prin depunere doar la un interval de presiune înaltă (10-15 atm.). La presiuni și mai mari, randamentul de depunere scade în mod dramatic, iar rezistența la abraziune a acoperirilor ce rezultă poate fi îmbunătățită astfel doar într-o foarte mică măsură.

Pentru a produce acoperiri de materiale compozite sau ceramice de înaltă calitate prin tehnologia HVOF, sistemul de pulverizare trebuie să aibă o putere mare de topire, suficientă pentru a topi particulele de pulbere chiar și în timpul unui zborului scurt (jet scurt de plasmă). Practica demonstrează că temperatura particulelor și natura statului de topire, pot controla eficiența de realizare a depozitelor de straturi și rata de acumulare, în timp ce comportamentul de aplatizare a pulberilor ce se depun, este dominat de componenta de energie cinetică care se transmite acestora. Pulberile folosite pentru pulverizarea HVOF trebuie să aibă o distribuție a dimensiunilor cât se poate de îngustă, iar mărimea lor medie ar trebui să fie cu 25% mai mică decât a acelor pulberi utilizate în general în tehnologia de pulverizare termică convențională. Selecția de gaz combustibil este de mare importanță și apare necesitatea de a găsi corect combinația de temperatură și viteză de lucru. Aceasta este o condiție pentru depunerea cu succes a acoperirilor ceramice de înaltă calitate. Densitatea de acoperire și proprietățile mecanice sunt puternic afectate de viteza particulelor când acestea sunt topite complet. Starea stabilă și combinația de particule în cazul tehnologiei HVOF este foarte sensibilă la distanțele variabile de depunere și se dovedește a fi un parametru de control important ce aduce influențe majore asupra microstructurii și proprietățile finale ale straturilor rezultate. De asemenea a fost remarcat faptul că în depunerilor prin HVOF interfețele de tranziție joacă un rol dominant în obținerea de proprietăți termice, electrochimice și tribologice de o foarte bună calitate.

Reduceri ale mărimilor granulației pulberilor (pulberea fină în ecartul de 10-25 μm) dă cele mai bune rezultate. Problematice referitoare la modalitatea de injecție radială a pulberii în cazul HVOF a fost confirmată în cazul în care pulberile au componente foarte fine sau excesiv de fine (nanoparticule), caz în care acestea aderă mai greu la substrat. Dispozitivele HVOF care permit creșteri de temperatură peste cele convenționale de pulverizare, fac posibil de utilizat și pulberi cu diametre de 35-50 μm , fără o scădere a randamentului depunerii sau a reducerilor de densitate de strat rezultat la depunere. Tehnica HVOF asigură depuneri foarte dense și cu porozitate de strat minim, ea poate fi folosită în principal pentru suprafețe exterioare, printre alte motive, tocmai datorită distanțelor mari de pulverizare necesare.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



Depunerea termică în plasmă prin tehnica APS

Tot din stadiul tehnicii se cunoaște faptul că depunerea termică în plasmă prin **tehnica de pulverizare în atmosferă de plasmă termică APS (Atmospheric Plasma Sprayng)** a amestecurilor complexe de pulberi, implică pulverizarea materialelor aflate sub formă de pulbere într-un jet fierbinte de plasmă termică. Pulverizarea în jet de plasmă utilizează în principiu jeturi de gaz cu temperaturi foarte ridicate pentru topirea materialului de adaos. Jetul de plasmă se formează prin încălzirea unor gaze, până la starea de plasmă. Temperatura plasmăi poate depăși valoarea de 15.000 K. În general depunerea termică în plasmă se poate produce în diverse medii. Această flexibilitate, în ceea ce privește mediul în care se poate realiza depunerea, este una din cele mai mari avantaje oferite de această metodă față de celelalte metode de depunere ce pot fi considerate ca fiind comparabile. Este în fapt motivul pentru care depunerea în plasmă a evoluat de la o tehnică inițială de acoperire la o tehnologie de procesare distinctă a materialelor metalice și nemetalice. În cadrul depunerii termice în plasmă APS se folosesc jeturi inerte de temperaturi ridicate și din acest motiv se pot depune diverse tipuri de materiale pulverulente chiar la presiune atmosferică normală. Energia de topire a jetului de plasmă este produsă de către un arc electric de înaltă intensitate. Sistemul duză-electrozi care produce arcul în plasmă este montat într-un dispozitiv sub forma unui pistol de depunere.

La aplicarea tehnologiei de depunere în plasmă, viteza mare a jetului de plasmă antrenează pulberea către suprafața pe care urmează a fi depusă. Efectuând acest lucru, ionii și electronii se recombina în atomi, eliberând energie sub formă de căldură. Căldura eliberată este absorbită de pulbere și în acest mod se produce o cantitate considerabilă de energie care face ca și materialele cu puncte ridicate de topire (Ta, Nb, Mo etc.) să se topească în fracțiuni de secundă. Adăusul de hidrogen utilizat în gazul de plasmă, mărește conținutul de căldură al jetului de plasmă și contribuie totodată la îmbunătățirea caracteristicilor de transfer a căldurii spre pulberile ce urmează a fi depuse. Se recomandă să se aplice un număr mai mare de treceri ale pistolului de pulverizare peste substratul ce urmează a fi metalizat. Motivul îl constituie faptul că fiecare strat se contractă puțin prin depunerea pulberii, iar valoarea contractării în strat este funcție de grosimea stratului. Straturile groase, de exemplu de peste 0,5 mm, realizate prin depunerea a două sau trei straturi, pot fi mai puțin omogene și există tendința de separare a lor. Motivul îl constituie faptul că procesul de pulverizare în sine este un proces de separare a particulelor. Fluxul gazului purtător care transportă particulele de material nu pătrunde prin suprafața materialului ci mai degrabă deviază de la suprafață. În concluzie orice particulă care lovește substratul trebuie să aibă o dimensiune și un moment suficient de mare pentru a traversa fluxul de gaz și pentru a lovi piesa de lucru. Se realizează o distribuție secvențială a particulelor, cele mari lovind substratul în centrul fluxului iar cele mici lovind substratul spre partea laterală a fluxului, iar pentru cele submicronice există riscul ca acestea să nu atingă deloc suprafața piesei, deoarece acestea datorită dimensiunii mici, pot fi îndepărtate cu ușurință de către curentul de gaz în stare de plasmă suprafierbinte..

Prezenta invenție implică obținerea unor pulberi de tip multicompozit și depunerea acestora în structuri de tip multistrat, respectiv un strat primar de aderență (strat de acroșaj) la suprafața rotoarelor, a discurilor rotorice și diafragmelor și un strat secundar de duranță. Aceste straturi ce sunt utilizate împreună, sunt destinate acoperirii suprafețelor componentelor rotorice și diafragmelor de turbine fabricate din oțeluri și care sunt folosite în abur geotermal de medie și

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



înalță entalpie. Compozitele cu depunere multistrat, au rolul de a proteja suprafața rotoarelor și diaframelor turbinelor împotriva coroziunii, abraziunii și eroziunii pe care aburul geotermal îl are asupra acestor componente pe durata funcționării turbinei. Invenția stabilește care sunt materialele și tehnologia adecvată care rezolvă cerințele majore de obținere a straturilor de protecție pentru rotoarele și diafragmele turbinelor geotermale.

Conform invenției, tehnologia ce se propune combină tehnica de depunerea HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) ce implică depunerea pulberilor în plasmă în flux de oxigen și la viteze supersonice cu depunerile prin pulverizare în atmosferă de plasmă termică APS (Atmospheric Plasma Sprayng). Tehnologia se aplică pentru realizarea a unor depuneri de straturi asociate de tip multicompozit în scopul obținerii unor noi tipuri de straturi de protecție ce prezintă o foarte bună rezistență la coroziune chimică, abraziune și uzură și sunt destinate protecției rotoarelor și diaframelor turbinelor geotermale. Prin tehnica inovativă prezentată, se permite de asemeni ca straturile multicompozit care se obțin, să poată fi utilizate și în vederea remanierii și recondiționării acelor componente de turbină care se află deja în funcțiune. Prin urmare multistraturile se pot aplica pentru componentele noi, dar se pot realiza și cu scopul de a repara și reface suprafețe ale rotoarelor sau diaframelor turbinelor care deja au funcționat în centralele geotermale actuale. Se realizează astfel o prelungire practică a duratei de funcționare a acestor componente ale turbinelor.

Înainte de obținerea straturilor compozit, este obligatorie selecția pulberilor, pentru a se alege acele pulberi care prezintă **o compoziție adecvată conform cerințelor din brevet**, în proporția și structura corespunzătoare. În al doilea rând, se impune a se respecta utilizarea instalațiilor la parametrii tehnologici indicați, cu o abordarea tehnologică strictă în proiectarea compozitelor și pregătirea, corespunzătoare a suprafețelor suport; respectiv a suprafețelor oțelurilor pe suprafața cărora se vor face depunerile. **Pulberile complexe indicate spre a fi utilizate ca bază a stratului primar** de aderență, au o comportare bună la uzură la temperaturi ridicate, precum și o bună rezistență la coroziune.

Obținerea compozitelor utilizabile în cadrul invenției

Numeroase compozite complexe pot fi fabricate prin amestecarea mecanică în moara planetară cu bile și prin sortarea unor tipuri primare de pulberi omogene ce pot fi obținute ca urmare a aplicării diferitelor tehnici cunoscute de atomizare, în scopul obținerii unor clase omogene de pulberi cu un înalt grad de sfericitate **Fig.1**. Amestecurile de pulberi sunt analizate pentru stabilirea dimensiunilor prin analiza granulometrică. Pentru dimensionarea amestecurilor de pulberi se poate folosi un granulometru cu site cu dimensiuni începând de la 125μm până la 25μm. Metoda care se poate folosi este dimensionarea pe site sau tehnica de cernere uscată și dimensionarea volumetrică. Se poate lucra și în sistem mecanic de sortare cu o mașină de sortare pentru frecvențe de circa 90 vibrații timp de 30 minute. Restul de pe fiecare sită poate fi stabilit prin pondere, iar pentru selecția și dimensionarea pulberilor este trasată și aplicată o curbă de lucru pentru calibrare.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



Straturile multicompozit rezultă ca urmare a pulverizării cu dispozitive pentru depunerea termică a pulberilor. Proprietățile compozitelor complexe sunt determinate nu numai de natura și calitatea pulberilor, dar și atomii de carbon angajați, de microstructura constituenților formați și de porozitatea și omogenitatea stratului rezultat în urma depunerii. Pulberile pentru depuneri pot fi măcinate pentru diferite perioade de timp, pînă se obține granulația prescrisă, iar ulterior se recomandă a fi supuse unui tratament de recoacere la 300⁰C timp de 1 oră în mediu controlat de argon 90% înainte de a se realiza depunerea în plasmă. Compoziția finală a acestora este îmbunătățită prin adăugarea de particule ce conțin 10-20% pulbere de oxizi Cr₂O₃ care vizează ameliorari mecanice, termochimice, chimice și îmbunătățirea comportamentului la uzură. Am arătat anterior că odată cu corodarea componentelor are loc și un proces de fragilizare cu hidrogen a aliajului din care sunt construite, acest lucru conducând la microfisuri de adâncime. Pentru compozitele utilizate în invenție, coroziunea prin fragilizare cu hidrogen poate fi diminuată substanțial prin adăugarea în pulberile de acoperire a unor microelemente precum:cromul, molibdenul, titanul sau wolframul. Se vor utiliza în tehnologia propusă prin invenție amestecurile și tipurile de pulberi multicompozit care au caracteristicile din Tabelul nr.3 și care sunt prezentate ca tipuri de pulberi în exemplificările următoare.

Tabel nr.3. Caracteristici ale pulberilor multicompozit.

Produs de tip multicompozit	*Marimea nominală a particulelor (μm)	Densitate aparenta (g/cm ³)	Marimea de graunte (μm)	Metoda de obținere
Amestec de pulberi sferice obținute prin atomizare	45÷5	3,6	Variabilă	Moara cu bile

*Dimensiunea particulelor măsurată prin laser (Aparat Microtrac).

Tipul nr. 1 de pulbere compozit utilizabilă

Pentru a crește rezistența împotriva coroziunii la cald, utilizarea unei acoperiri din pulberi pe bază de combinații Ni-Cr are un real rezultat favorabil. Formarea unor straturi de oxid pe bază de Cr, cu grosimi de aproximativ 30 μm, este în principal responsabilă pentru o protecție reușită la un atac de coroziune. În prezența alcaliilor din aburul geotermal și a sulfului, se formează o peliculă subțire de Na₂SO₄. Formarea de anioni previne sulfurarea compozițiilor de tipul: Ni-20Cr, Ni-50Cr și Ni-30Cr-5V. Aceste combinații pot fi utilizabile sub formă de pulberi pentru acoperirea componentele centralelor geotermale, straturile asigurînd într-o instalație geotermală reală durate de utilizare fără probleme pînă la 3-4 ani. Prin utilizarea unor pulberi de tipul 75Cr₃C₂-25NiCr în amestecul de compozit se induce formarea unor cermeți de tipul (Cr₃C₂-NiCr). Se asigură astfel o foarte bună rezistență la coroziune, compusul formînd un strat compact, dar și o bună barieră în calea migrării oxigenului către substratul din oțel.

După acoperirea în plasmă cu aceste sorturi de pulberi; toate tipurile de oțeluri au arătat o mai mică creștere în greutate totală, datorate oxidării prin comparație cu specimene ce au fost testate fără a fi acoperite. Formarea de faze, cum ar fi Cr₂O₃ și NiCr₂O₄ în stratul de primar de protecție al acoperirilor multistrat a sugerat utilizarea lor pentru inducerea rezistenței necesare oțelurilor diverselor componente ce funcționează în centralele geotermale. Mecanismul probabil al rezistenței la coroziune pentru acești compuși de tipul Ni-20Cr sau similar acestuia, se bazează

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



pe dezvoltarea de structuri peliculogene de oxizi rezistente la coroziunea la cald. Ca urmare pot fi utilizați ca acoperire compozit și pot fi expuși la agenții corozivi de NaCl; Na₂SO₄, hidrogen sulfurat etc. La aceste compoziții de pulberi ce formează stratul primar de legătură (strat de acroșaj) cu suportul din oțel, apare o mică difuzie de fier din substratul de oțel către stratul inferior ale depunerilor de compozit. În acest caz componenta cu vanadiu din oțelul de bază dacă ea există, are tendința de a difuza în toată masa de compozit, iar concentrația acestuia tinde să fie mare chiar și în straturile superioare, fiind necesară o restricționare și se impune o limitare la minim a conținutului de vanadiu din oțel la circa 1%. Ca urmare pentru compensare se introduce un conținut de 1-1,5V% și 1% Mo în pulberea de bază a compozitului, care va încetini absorbția de hidrogen în structura de oțel. Conținutul de vanadiu împreună cu molibdenul prezent în compozit, va absorbi hidrogenul și va conduce la o absorbție mică a hidrogenului în structura oțelului. Sulfurul pătrunde în compozitul de bază pentru a forma separat compusi cu crom în acele locuri în care compușii de Ni și de Fe sunt absenți. La pregătirea pulberilor pentru stratul primar, prin asocierea acestora cu mici procente de pînă la max 0,5% de pulberi elementare, se creează și alte avantaje suplimentare astfel:

- *borul* scade temperatura de topire și contribuie la formarea de faze dure
- *siliciul* se adaugă în vederea majorării proprietăților auto-fondante ale pulberilor

Invenția se caracterizează prin faptul că la microalierea tuturor pulberilor utilizabile în **stratul primar** de multicompozit, se utilizează un proces de acreționare de pulberi (adiționare la suprafața sferulitelor primare de pulberi **Fig.1**) a unor cantități de 3-5% Ta sau Nb. Acest lucru se face în scopul creșterii rezistenței stratului de compozit la atacul vaporilor de apă și a hidrogenului sulfurat din compoziția vaporilor geotermali ce acționează turbina. După depunerea termică a acestor tipuri de pulberi, se formează în stratul de compozit unele modificări polimorfe pe bază de Ta sau Nb. Acestea au rolul de a împiedică tendința spre coroziune intercristalină a oțelului suport din care sunt fabricate componentele turbinei. Față de oxigen și hidrogen Ta și Nb se comportă oarecum în mod similar. Niobiul este oxidat de vaporii de apă și apare un strat de Nb₆O sau NbO₂. De asemenea NbO₂ care se poate forma, este un produs de oxidare ce se constituie ca o bună barieră de blocare a hidrogenului. Oxidul format absoarbe hidrogenul în masa compozitului și împiedică o difuzare masivă a acestuia în structura de bază a paletelor.

Tipul nr.2 de pulbere compozit utilizabilă

Un amestec de pulberi micronice bazat pe mici particule rotunde de "pulberi gazda" de Ni - Cr, ce au fost obținute prin atomizare, au capacitatea de a încorpora la amestecarea în moara cu bile, 15% de pulberi de aliere pe bază de WC-5Co sau WC-5Mo. Acestea la amestecare se constituie ca un film micronic subțire în jurul particulelor gazdă, crescînd în acest fel omogenitatea și calitatea pulberilor aliate pentru a realiza **straturi secundare** de depunere. Tehnic există o varietate de procese de producție ce pot fi utilizate pentru a produce pulbere primară micronică de tipul WC-Co. Pulberea prezintă diferențe în morfologie, are diferite procente ale fazelor de carbură și în mod normal prezintă și diferențieri de microstructură. Prezența carbonului în pulberea complexă conduce la producerea de carburi dure, iar duritatea ridicată produce o creștere directă a rezistenței la uzură a acoperirilor obținute. Se vor utiliza pulberi sferice obținute prin atomizare deoarece atomizarea, este un proces adecvat pentru

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



producerea pulberilor de formă sferică sau cu o foarte mare tendință de rotunjite (**Fig1**). Au suprafețe relativ netede și o densitatea aparentă a matricei de $4,2\text{g/cm}^3$. În timpul procesului de depunere termică APS în plasmă a acestor pulberi, au loc transformări deoarece pulberile de WC-Co sunt expuse la o flacără foarte fierbinte și drept urmare au loc reacții de carburare sau oxidare. Aceste fenomene pot conduce la dizolvarea WC în lichidul de Co-liant. Are loc pierderea de carbon prin oxidare și formarea unor faze microcristaline odată cu resolidificarea stratului de compozit nou format.

Tipul nr. 3 de pulbere compozit utilizabilă

Un tip de pulbere denumită „pulbere multimodală”, poate fi obținută prin amestecul de pulberi convenționale de WC cu produse nanostructurate sinterizate de tipul WC-Co cu 5-10%Co. Sinterizarea unor pulberi WC-Co cu scară dimensională nanometrică la care compusul WC are granulație de 100-600 nm se poate produce prin procesul de conversie și pulverizare. Materialele obținute prin acest proces s-au obținut încă din anii 1997-2000 sunt sub formă de pulberi.

Prin prezenta invenție la prepararea pulberilor compozit se introduc și conținuturi de 5-7% CTa sau CNb ce conferă la utilizare proprietăți superioare sistemelor de pulberi pe bază de WC-Co. Pulberea submicronică și nanostructurată sinterizată pe bază de WC-Co cu particule de 5% CTa sau 5% CNb propusă prin brevet, prezintă o duritate substanțial mai mare decât aceea realizată de către microstructura pulberilor clasice obținute din WC-Co. În acest caz nu mai are loc o pierdere masivă de carbon prin oxidare și formarea unor noi faze microcristaline, iar la solidificare stratului de compozit format, acesta este divizat submicronic fiind dimensional nanostructurat și mult mai compact. De asemenea, la pulberile submicronice sau nanostructurate WC-Co dopate cu CTa sau CNb, după depunerea lor, apare o creștere a rezistenței la abraziune și uzură în comparație cu pulberile de tip WC-Co convenționale. La analiză compoziția chimică a particulelor dure pe bază de WC este de de 99,5% W pur, iar dimensiunea diametrelor particulelor s-a situat între 500nm-5 μ m. La aplicarea tehnologiei de depunere în plasmă a acestor compozite, se obține formarea unor straturi omogene, relativ dense și cu o porozitate minimă, ceea ce le face apte ca aplicație în special **pentru realizarea de straturi de uzură pe bordurile de atac ale paletelor de turbină.**

Tipul nr. 4 de pulbere compozit utilizabilă

Pentru obținerea straturilor secundare de tip multicompozit, se pot utiliza cu succes combinații de pulberi de oxizii de aluminiu, siliciu și magneziu. Acești oxizi au coeficienți de dilatare relativ reduși (MgO are un coeficient de dilatare de $13,5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) la temperatura de lucru a turbinei, rezistă foarte bine în mediu coroziv de abur geotermal și au durități relativ mari. Oxizii ceramici se pot utiliza la depunerea în plasmă în strat secundar de compozit cu rol de protecție a suprafețelor rotoarelor, diafragmelor sau a altor componente ale turbinei. Alumina (Al_2O_3) este relativ stabilă (faza α) până la temperaturi de 1700°C , iar pulberi pe bază de oxizi de

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



aluminiu și magneziu sub formă de spinel ($MgO \cdot Al_2O_3$) sau o pulberile ceramice de tip mult (3 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) sau cordierit (2 $MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$) pot fi de asemenea utilizate cu succes ca strat secundar de protecție a componentelor principale ale turbinei.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în elaborarea unui procedeu adecvat de obținere a straturilor multiple de tip multicompozit utilizabile pentru protecția diverselor tipuri de rotoare de turbină **Fig.2 și Fig.3**, dar și a altor componenteși importante cum sunt discurile **Fig.4** sau diafragmele din componența turbinelor geotermale. Metoda constă în obținerea și utilizarea compozitelor cu depunere de tip multistrat **Fig.5** cu rolul de a proteja suprafața componentelor turbinelor geotermale împotriva coroziunii, abraziunii și eroziunii pe durata funcționării turbinei și se caracterizează prin aceea că stabilește materialele și o tehnică adecvată ce combină **pulverizare cu viteză mare în atmosferă de plasmă termică HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)** cu **tehnica de depunere APS (Atmospheric Plasma Sprayng)** a unor materiale specifice. Acest obiectiv este atins prin combinarea mai multor tipuri de materiale compozite sub formă de pulberi care se regăsesc în exemplificările prezentate mai sus. Ulterior etapei de obținere se realizează depunerea acestora prin tehnici specifice de depunere pentru realizarea multistraturilor cu dimensiuni de la zeci de microni la sute de microni cu rolul de a asigura protecția componentelor rotorice și a diafragmelor turbinei. Înainte de a se realiza depunerile în plasmă a compozitelor de tip multistrat pe suprafețele componentelor din oțel ale turbinei, acestea suferă o etapă de pregătire preliminară care constă în curățirea și modificarea microgeometrie suprafețelor și funcționalizarea acestora prin realizarea unei rugozități $R_a = 0,16-0,20\mu m$ necesare creșterii aderenței. Etapa de pregătire a suprafețelor se realizează prin sablarea suprafețelor cu aer comprimat și particule de alumină de $0,20\mu m$. Se dau în continuare exemple de aplicare a tehnologiei în scopul obținerii straturilor de protecție a suprafețelor componentelor rotorice și a diafragmelor turbinelor geotermale.

Exemplul nr.1 de realizare

Se utilizează o tehnologie ce implică realizarea de depuneri multistrat **Fig.6** în care:

- **primul strat de compozit depus**, respectiv stratul de acroșaj are compoziția de **Tip 1** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Depunerea stratului se face după pregătirea suprafețelor prin sablare cu particule de alumină și obținerea rugozității de lucru cu $R_a = 0,16-0,20\mu m$. Primul strat depus se realizează prin utilizarea metodei HVOF de pulverizare cu viteză supersonică în atmosferă de oxigen. Stratul în mod uzual are 100-150 μm , iar depunerea se face pentru a se obține un strat de acroșaj de calitate. Distanța medie de pulverizare este de 500mm, iar ceilalți parametrii de lucru pentru obținerea stratului primar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.4.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



Tabelul nr.4. Parametrii de lucru pentru pulverizare HVOF.

Presiunea de lucru	12 atm
Viteza gazului plasmogen	1800-2000 m/s
Viteza particulelor la depunerea stratului compozit	500-600 m/s
Viteza tehnologică de depunerea pulberilor	120g/min
Caracteristici combustibil:	
- oxigen	250-300 l/min
- propan	50-70 l/min
- aer	450-500 l/min

- **cel de al doilea strat** de material depus pe suprafața componentelor turbinei în mod uzual are 300-700 μ m și se obține prin metoda de pulverizare în atmosferă de plasmă termică APS. Are compoziția chimică de **Tip 2** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Distanța medie de pulverizare este de 150mm, iar ceilalți parametrii de lucru pentru obținerea stratului secundar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.5.

Tabelul nr.5. Parametrii de lucru pentru pulverizare în jet de plasmă APS.

Debit gaz de plasmă [m ³ .h ⁻¹]	Putere jet de plasmă [KW]	Viteză plasmă [m.s ⁻¹]	Temp substrat [°C]	Grosime strat depus [mm]	Debit pulbere [kg.h ⁻¹]	Amperaj [A]	Voltaj [V]
Anestec de gaze pe bază de Ar și 20vol.%H ₂ Presiune gaz plasmogen 100atm	80	0,3	140 ± 5	0,3	0,7	600	70

Exemplul nr.2 de realizare

Se utilizează o tehnologie ce implică realizarea de depuneri multistrat **Fig.6** în care:

- **primul strat de compozit depus**, respectiv stratul de acroșaj are compoziția de **Tip 1** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Depunerea stratului se face după pregătirea suprafețelor paletelor prin sablare cu particule de alumina și obținerea rugozității de lucru cu $R_a = 0,16-0,20\mu$ m. Primul strat depus care în mod uzual are 100-150 μ m se face pentru a se obține stratul de acroșaj, iar această depunerea se realizează prin utilizarea metodei HVOF de pulverizare cu viteză supersonică în atmosferă de oxigen. Distanța medie de pulverizare este de 500mm, iar ceilalți parametrii de lucru pentru obținerea stratului primar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.4.

- **cel de al doilea strat** de material depus pe suprafața componentelor turbinei în mod uzual are 300-700 μ m și se obține prin metoda de pulverizare în atmosferă de plasmă termică APS

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



de **Tip 3** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Distanța medie de pulverizare este de 60mm, iar ceilalți parametri de lucru pentru obținerea stratului secundar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.5.

Exemplul nr.3 de realizare

Se utilizează o tehnologie ce implică realizarea de depuneri multistrat **Fig.6** în care:

- **primul strat de compozit depus**, respectiv stratul de acroșaj are compoziția de **Tip 1** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Depunerea stratului se face după pregătirea suprafețelor paletelor prin sablare cu particule de alumina și obținerea rugozității de lucru cu $R_a = 0,16-0,20\mu\text{m}$. Primul strat depus care în mod uzual are 100-150 μm se face pentru a se obține stratul de acroșaj, iar această depunere se realizează prin utilizarea metodei HVOF de pulverizare cu viteză supersonică în atmosferă de oxigen. Distanța medie de pulverizare este de 500mm, iar ceilalți parametri de lucru pentru obținerea stratului primar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.4.

- **cel de al doilea strat** de material depus pe suprafața componentelor turbinei în mod uzual are 300-700 μm și se obține prin metoda de pulverizare în atmosferă de plasmă termică APS de **Tip 4** ce a fost prezentată anterior și caracteristicile din Tab.nr.3. Distanța medie de pulverizare este de 60mm, iar ceilalți parametri de lucru pentru obținerea stratului secundar de compozit sunt prezentați în Tab.nr.5.

Referințe bibliografice

Referințe brevete de invenție:

US2016115818 - A1. Article for turbine engine component comprises substrate and coatings disposed on substrate in which coatings contain thermal barrier coating disposed on substrate and protective coating disposed on thermal barrier coating.

US2016115819 - A1. Article e.g. blade of engine component of e.g. aviation turbine, has substrate which is coated with coatings composed of protective overlaying coating comprising calcium-magnesium-aluminium-silicon-oxide (CMAS)- reactive metal.

GB2007129-A din 1979- Coating by spraying with gas atomised metal melt – forming hard facings on tools or corrosion resistant coating on turbine blades.

US2001004474 - A1. Improving durability of turbine blade involves applying corrosion resistant overlay coatings.

US4029838 - Hybrid composite laminate structures (1977).

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



CN1840737B- Reflective and resistant coatings and methods for applying to composite structures (2010).

EP1707649A2- Method for coating surfaces with a mixture (2010).

US7776404 - Curing bond coat having nanoparticles dispersed in polyimide matrix then applying inorganic polymer and recuring; producing durable, thin, lightweight, high temperature aerospace replacement parts (2010).

Alte publicații fără brevet:

1. Einar Tjorvi Eliassonm, Power Generation National from High-Enthaply Geothermal Resources. Energy Authority, Reykjavik, Iceland. GHC Bulletin, June 2011.
2. Sveinbjornsson, B. A., Thorhallsson, S. (2014). Drilling performance, injectivity and productivity of geothermal wells. Research Article. **Geothermics, Vol 50**, 76-84.
3. Alfreðsson, H. A., Oelkers, E. H., Harðarson, B. S., Franzson, H., Gunnlaugsson, E., Gíslason, S. R. (2013). The geology and water chemistry of the Hellisheiði, SW-Iceland carbon storage site. **International Journal of Greenhouse Gas Control** 12, 399-418.
4. Andritschky, V. Teixeira, Adherence of combined physically vapor-deposited and plasma-sprayed ceramic coating, *Surface and Coating Technology* 76-77, (2007).
5. R.C.Souza, H.J.Voorward, M.Cioffi, Fatigue strength of HVOF sprayed Cr3C2-25NiCr and WC-10Ni on AlSi 4340 steel; *Surface Coat.Technology* 2008; 203, pp191-198.
6. J.A. Cabral Miramontes and all, Parameter Studies on High Velocity Oxi Fuel Sprayng of CoNiCrAlY Coaings Used in the Aeronautical Industry, *International Journal of Corrosion*, vol 2014, doi:10.1155/2014/703806. Article ID 703806.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



REVENDICĂRI

1. Metodă de utilizare a compozitelor cu depunere de tip multistrat, **care se caracterizează prin aceea că** straturile depuse au rolul de a proteja suprafața rotoarelor și diafragmelor turbinelor geotermale împotriva coroziunii, abraziunii și eroziunii pe durata funcționării turbinei și stabilește materialele și o tehnologie adecvată care combină pulverizare cu plasmă în flux de oxigen la viteze supersonice HVOF cu pulverizare în atmosferă de plasmă APS a unor amestecuri complexe de elemente metalice pe bază de Cr, Ni, Ta, Nb, Mo, W, Si, Al, B, iar multistraturile depuse pentru protecția componentelor turbinei se pot realiza astfel:

a) primul strat depus în plasmă termică cu grosimi de 100-150 μm este un compozit pe bază de pulberi crom-nichel, iar pentru microalierea pulberilor din stratul primar depus HVOF se utilizează mici cantități de 3-5% Ta sau Nb cu 0,5% Fe, max 0,3% Si, max 0,1% K și 0,5%B;

b) celui de al doilea strat cu grosimi de 300-700 μm se realizează prin pulverizare termică APS și este pe baza de pulberi micronice de Ni-Cr, ce au fost obținute prin atomizare și au capacitatea de a încorpora 15% de pulberi de aliere pe bază de WC-5Co sau WC-5Mo.

2. Metodă conform revendicării 1, în care cel de al doilea strat de material depus APS pe suprafața componentelor turbinei este un tip de pulbere ce poate fi obținută prin amestecul de pulberi convenționale de WC cu produse nanostructurate sinterizate de 100-600 nm de tipul WC-Co, la care se adaugă pulberi micronice de 5-10%Co cu 5-7% CTa, existând posibilitatea de a înlocui carbura de tantal cu cea de niobiu.

3. Metodă conform revendicării 1, în care cel de al doilea strat de material depus APS pe suprafața componentelor turbinei este o pulbere micronică de oxid de aluminiu.

4. Metodă conform revendicării 1, în care cel de al doilea strat de material depus APS pe suprafața componentelor turbinei este o pulbere micronică de tip spinel $\text{MgO Al}_2\text{O}_3$.

5. Metodă conform revendicării 1, în care cel de al doilea strat de material depus APS pe suprafața componentelor turbinei este o pulbere micronică de tip mulit $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

6. Metodă conform revendicării 1, în care cel de al doilea strat de material depus APS pe suprafața componentelor turbinei este o pulbere micronică de tip cordierit $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$.

7. Metodă conform revendicării 1, prin care se permite de asemeni ca straturile multicompozit care se obțin, să poată fi utilizate și în vederea remanierii și recondiționării rotoarelor și diafragmelor turbinelor care se află deja în funcțiune, deoarece tehnologia permite ca multistraturile să se poată aplica pentru acoperirea componentelor noi, dar și pentru a repara și refăce suprafețele rotoarelor și diafragmelor care deja au funcționat în centralele geotermale, realizându-se astfel o prelungire a duratei de funcționare a acestora.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
Director Dr.ing.Anghel Ioncea



DESENE BREVET

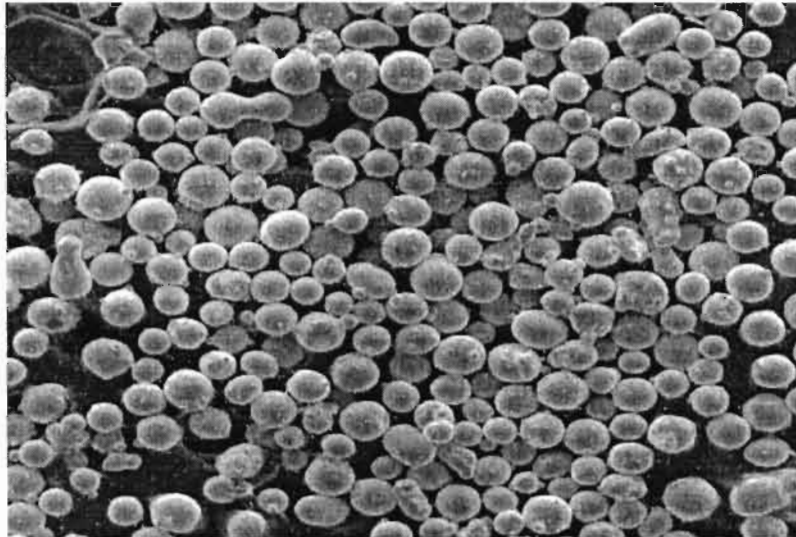


Fig.1. Imagine de microscopie electronică SEM ce prezintă regularitatea particulelor cu diametre de circa 20 microni obtinute prin atomizare. Se observă asocierea de mici particule satelit ce s-au atașate acestora.

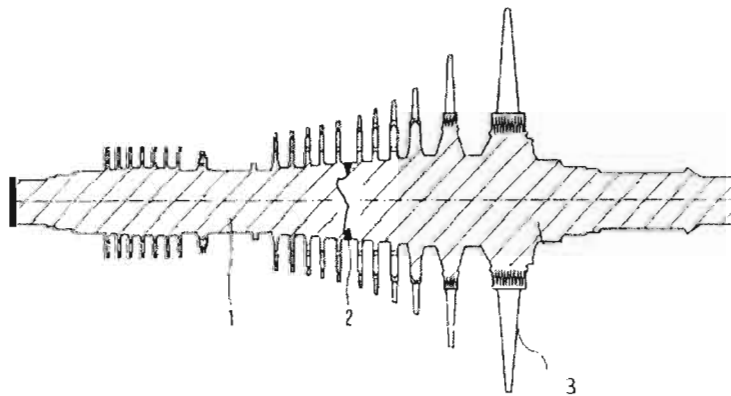


Fig.2. Schița unui corp rotor cu palete montate pe discuri.

- (1) Arborele rotor. (2) Interspațiu pentru paletele statorice și poziționarea diafragmelor turbinei.
 (3) Palete pe discurile axului rotoric.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
 Director Dr.ing.Anghel Ioncea



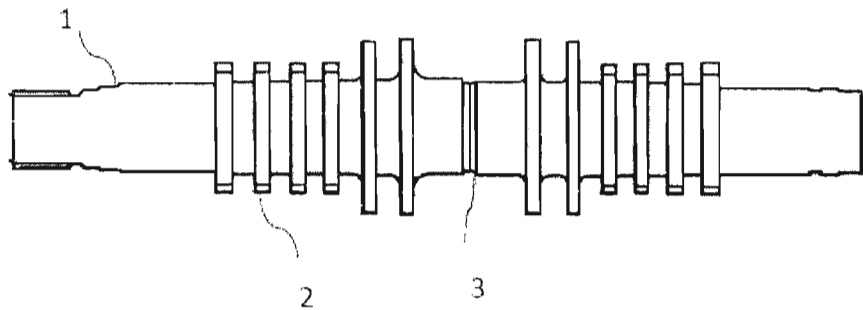


Fig.3. Schița unui corp de rotor în tandem (pentru palete rotorice amplasate dublu simetric).
 Reprezentarea cuplelor rotorice pentru fixarea paletelor. (1) Corpul arborelui rotor .
 (2) Disc rotoric pentru locașurile de fixare ale paletelor rotorice.
 (3) Zona cu planul de simetrie al rotorului de tip tandem.

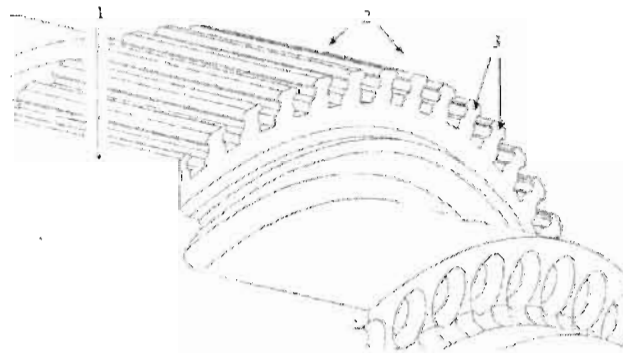


Fig.4. Schița unui disc rotoric și ale locașurilor de fixare ale paletelor mobile.
 (1) Disc rotoric.(2) Locașuri de fixare pentru pinii conectori ai paletelor. (3) Perete canelat pentru centrarea și fixarea paletelor mobile pe disc.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
 Director Dr.ing.Anghel Ioncea



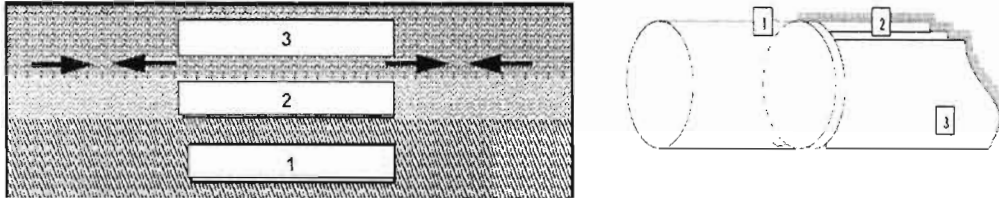


Fig.5. Schema de depunere a straturilor de pulberi compozit peste suportul din oțel.
 (1) Axul rotoric din care este construită paleta turbinei. (2) Strat primar de compozit depus ca strat de acroșaj prin care se realizează o disipare a tensiunii de forfecare la interfața oțel-strat compozit. (3) Multistrat de compozit depus prin metalizare în plasmă.

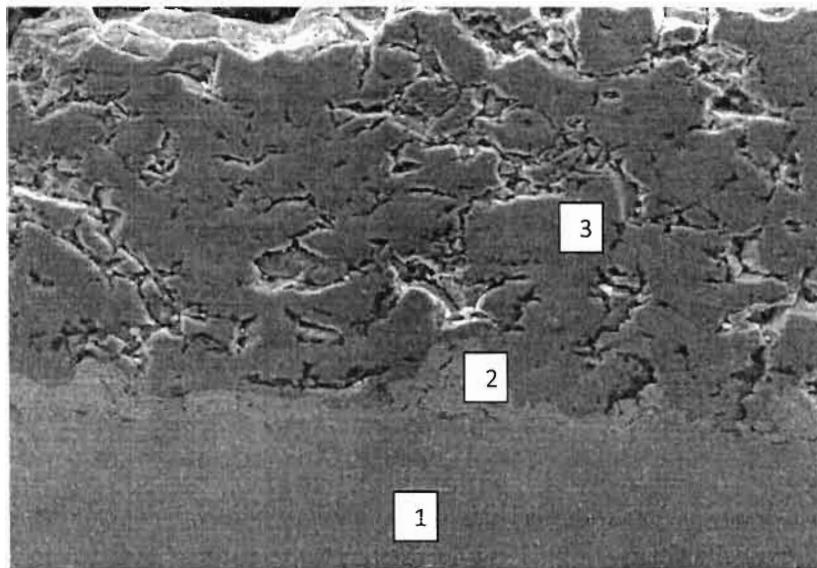


Fig.6. Imagine de microscopie electronică SEM ce prezintă cele două straturi de compozit cu grosimi diferite și grade diferite de porozitate . (1) Suprafața din oțel a rotorului turbinei. (2) Strat primar de compozit depus HVOF ca strat de acroșaj. (3) Multistrat secundar depus APS pentru protecția suprafeței rotorului turbinei. Mărire x 500.

S.C.METAV - Cercetare Dezvoltare srl
 Director Dr.ing.Anghel Ioncea

