

Sesiunea Științifică Studențească, 15-16 mai 2015

Studiu privind acoperirea și durificarea suprafețelor metalice cu laser

CHIOIBAȘU Georgiana - Diana

Conducător științific: Prof.dr.ing. MOHORA Cristina

REZUMAT: Datorită creșterii interesului și a importanței studiilor privind recondiționarea pieselor uzate, în ultimii ani s-a observat apariția unor noi direcții de abordare a proceselor de recondiționare prin depunere cu laser. Acest lucru se datorează necesității reparării și totodată creșterii caracteristicilor fizico-chimice, mecanice și tehnologice a suprafețelor superficiale ale pieselor, în vederea creșterii duratei de exploatare. Procesul de depunere cu fascicul laser constă în adăugarea unui material de adaos pentru a schimba sau îmbunătăți proprietățile suprafeței superficiale ale materialului de bază. Lucrarea are ca scop optimizarea parametrilor de depunere de pulberi pe un oțel slab aliat, determinarea influenței puterii fascicului laser și a vitezei de depunere asupra geometriei stratului depus și efectuarea unor măsurători de microduritate și compoziție chimică.

CUVINTE CHEIE: Depunere de pulberi metalice, recondiționare, material de adaos, schimbarea proprietăților.

1. INTRODUCERE

Procesarea cu laser este utilizată în mai multe domenii industriale, printre cele mai cunoscute se numără tăierea și sudarea cu laser, dar și procesul de depunere de pulberi, proces în care pulberea metalică este injectată coaxial cu putere în raza laser, pentru a topi și a forma o baie topită de material (vezi figura 1).

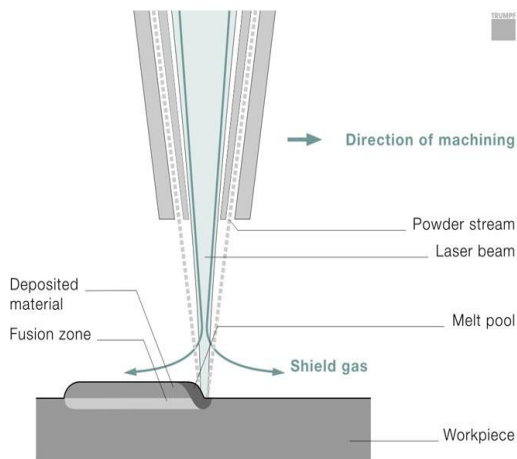


Figura 1. Schema de principiu de depunere de pulberi [1]

Procesul de depunere cu fascicul laser constă în adăugarea unui material de adaos pentru a schimba sau îmbunătăți proprietățile suprafeței superficiale a

materialului de bază. Principalul obiectiv al tezei de disertație este optimizarea parametrilor de depunere a pulberilor metalice cu laserul. Totodată se dorește efectuarea unor măsurători de microduritate și compoziție chimică, dar și determinarea influenței puterii fascicului laser și a vitezei de depunere asupra geometriei stratului depus. În acest studiu se va utiliza un laser cu undă continuă **YB:YAG** (YTTERBIUM-doped : yttrium aluminium garnet $Y_3Al_5O_{12}$), cu putere maximă de 3 Kw pe piesa de prelucrat și lungime de undă 1030 nm. Laser-ul este folosit de un sistem robotizat cu 6 axe, la care este cuplat sistemul de dozare a pulberilor metalice (vezi figura 2). Se vor depune pulberi de stellite (aliaj de cobalt, crom, wolfram, molibden și fier) pe un material de bază de oțel slab aliat.



Figura 2. Sistemul de depunere de pulberi[2]

¹Specializarea Concepția Integrată a Sistemelor Tehnologice, Facultatea IMST;

E-mail: diana_chioibasus@yahoo.com;

2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND ACOPERIREA ȘI DURIFICAREA SUPRAFEȚELOR METALICE CU LASER

Temperaturile ridicate, presiunile enorme, umiditatea, măcinarea, spălarea, și radiațiile determina uzura rapidă a pieselor scumpe și nu numai. Problema este bine cunoscută în industria aerospațială, de foraj marin, automobile și de fabricație comercială de vehicule, construcții de matrițe, și o varietate de alte aplicații ale industriei grele. Depunerea de metal cu laser (LMD), este o procedură cu laser generativă în care metalul este aplicat pe instrumente și componente existente, în straturi. Laserul generează o baie topită pe suprafața existentă, în care una sau mai multe tipuri de pulberi metalice este pulverizată printr-o duză. Pulberea se topește și apoi formează legătura cu materialul de bază. Puțin câte puțin, un nou strat de material se dezvoltă.[1]

2.1 Tehnologia de prelucrare cu fascicul laser

Prelucrarea cu fascicul laser creează proprietăți speciale materialelor metalice procesate. Tehnologia de prelucrare cu laser presupune utilizarea tuturor proceselor necesare în vederea încălzirii locale ale unei suprafețe. Utilizarea laserului ca sursă concentrată de energie are următoarele avantaje comparativ cu metodele convenționale:

- Precizie asupra fascicului concentrat de lumina.
- Procesarea unor suprafețe selective.
- Controlul exact al profilului termic și limitarea zonei influențate termic.
- Datorită energiei termice totale mici, tensiunile induse în materialul de bază sunt minime.
- Procesul de încălzire - răcire este foarte rapid.
- Prelucrare fără contact direct.
- Automatizarea procesului de prelucrare cu laser este ușoară.
- Viteza mare de prelucrare.

Procedeele de prelucrare cu laser, conform literaturii de specialitate, sunt de două feluri :

- Termice → călire
→ topire
- Termo-chimice → aliere
→ încărcare

Procesele termice, precum călirea și topirea, schimbă suprafața materialului de bază prin modificarea microstructurii stratului superficial. În timp ce procesele termo-chimice, alierea și încărcarea, modifică suprafața materialului de bază prin depunerea unui material de adaos cu fascicul laser.

Solidificarea rapidă a materialului este principala caracteristică a procedeelor de prelucrare cu laser, proces în urma căruia se obțin structuri metalice fine și proprietăți mult superioare altor tehnici de procesare.

În cazul încărcării cu pulberi metalice se utilizează cantități mai mari de pulbere pentru a crea un strat superficial nou, cu proprietăți superioare, menținându-se o diluție minimă cu materialul de bază. Comparativ cu alte procedee de îmbunătățire a suprafețelor metalice, depunerea cu fascicul laser și pulbere prezintă următoarele avantaje:

- Diluție redusă între stratul depus și materialul depus (comparativ cu procesul de aliere); Creșterea rezistenței la uzură;
- Zonă afectată termic redusă;
- Strat depus compact cu porozitate redusă;
- Repetabilitate sporită a procesului;
- Prelucrări mecanice minime (ulterioare procesului de depunere).[8]

2.2 Metode tehnologice de depunerea a pulberilor cu fascicul laser

Procesul de depunere cu fascicul laser constă în adăugarea unui material de adaos pentru a schimba sau îmbunătăți proprietățile suprafeței superficiale a materialului de bază. În funcție de natura materialului de adaos, procesul de încărcare cu fascicul laser se poate realiza în două moduri:

1. Depunere în două etape.
2. Depunere într-o singură etapă.

2.2.1 Depunerea în două etape.

Depunerea în două etape constă în topirea sau retopirea unui material de adaos pe suprafața materialului de bază. Materialul de adaos poate să fie depus în prealabil prin pulverizare termică sau plasmă și cu ajutorul laserului se efectuează o retopire a stratului depus. Conform [3,4] retopirea este necesară deoarece procedeele convenționale nu pot asigura o bună adeziune între particule și o aderență ridicată la materialul de bază. Pentru a se putea aplica această tehnică de retopire, materialul depus trebuie să prezinte o adeziune suficient de

ridicată la materialul de bază pentru a prevenii exfolierea în timpul procesului de retopire cu fasciculul laser. Procesul depunerii în două etape cu pulbere pre-plasată se realizează prin amestecarea materialului de adaos (pulbere) cu un liant chimic și apoi plasarea amestecului în formă de pastă pe suprafața materialului de bază. În a doua etapă a procesului, fasciculul laser topește pulberea care aderă la suprafața materialului de bază și liantul chimic se evaporă. Uzual, aliajul pentru pre-plasare se realizează prin amestecarea pulberii cu acetonă într-un omogenizator magnetic după care se adaugă un liant pe bază de poliuretan. Amestecul astfel realizat se întinde pe suprafața materialului de bază și se introduce într-un cuptor (aprox. 1 oră la 100 °C) pentru uscare și evaporarea elementelor volatile.

Se utilizează în general același tip de pulberi ca și în cazul depunerilor prin metalizare sau cu plasmă. La această tehnică de încărcare trebuie să se țină cont de vâscozitatea amestecului pentru a permite o bună aderență a pastei pe suprafața care urmează a fi procesată, dar și pentru a evita dispersarea pulberii de către gazul de protecție [5].

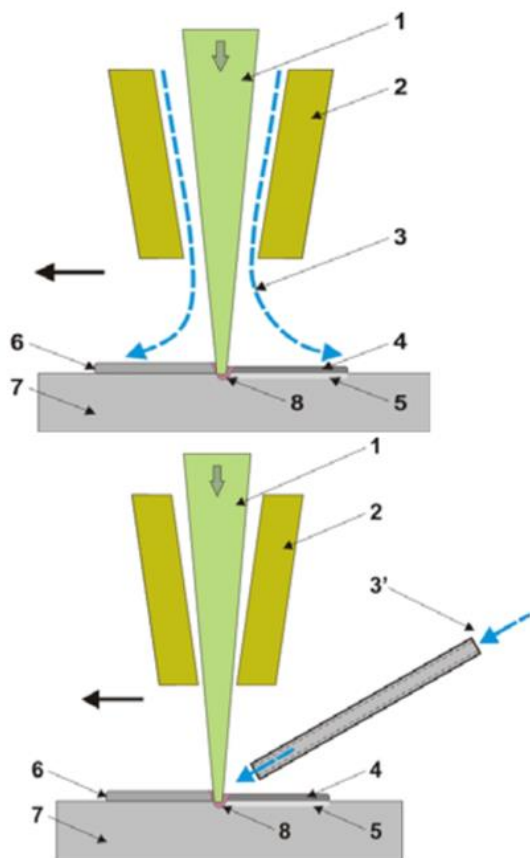


Figura 3. Depunere cu fascicul laser și pulbere pre-plasată, 1- fasciculul laser, 2- modul optic de focalizare, 3- gaz de protecție furnizat coaxial, 3'- gaz de protecție furnizat lateral, 4- material depus, 5- zona influențată

termic, 6- pulbere pre-plasată în formă de pastă, 7- material de bază, 8- baie de metal topit[6,7]

2.2.2 Depunerea într-o singură etapă

Depunerea cu laser și pulberi aliate

Depunerea cu laser și pulberi aliate reprezintă cea mai modernă tehnologie în ceea ce privește îmbunătățirea sau recondiționarea suprafețelor metalice. Caracteristicile termice speciale produse de fasciculul laser, dar și posibilitatea de a furniza precis materialul de adaos, fac posibilă efectuarea unor depuneri cu proprietăți superioare materialului de bază.

2.2.2.1 Depunerea cu laser și pulbere injectată lateral

În cazul acestei tehnici de depunere, pulberea este injectată printr-un tub metallic de o anumită formă, lungime și diametru. În figura 4 este prezentat schematic principiul acestui procedeu. Pulberea se intersectează cu raza laser și este încălzită, topită și fuzionată cu materialul de bază [2].

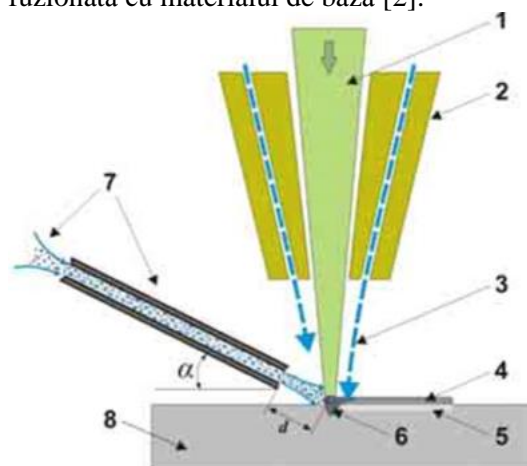


Figura 4. Depunere cu fascicul laser și pulbere injectată lateral; 1- fasciculul laser, 2- modul optic de focalizare, 3- gaz de protecție furnizat coaxial, 4- material depus, 5- zona influențată termic, 6- baie de metal topit, 7- material de adaos și gaz transportor, 8- material de bază;[12]

Acest mod de depunere prezintă avantajul simplității echipamentului deoarece se poate realiza cu orice tip de sistem optic de focalizare. Se pot utiliza capete de tăiere, sudare sau tratament termic cu laser, la care se adaugă din lateral un sistem de pulverizare al materialului de adaos. Suplimentar pentru protecția băii metalice se poate adăuga un jet de gaz de protecție care poate să fie la fel sau diferit de gazul transportor. Procesul de depunere cu laser și pulbere injectată lateral este direct influențat de unghiul și distanța de la care este pulverizat materialul de adaos în baie topită [2].

2.2.2.2 Depunerea cu laser și pulbere injectată radial

Depunerea cu laser și pulbere injectată radial este cea mai eficientă și precisă metodă de încărcare a suprafețelor metalice. Comparativ cu depunerea cu sârmă, injectarea radială a pulberii reduce fenomenul de obturare a fasciculului laser către suprafața piesei. Conform [9,10] procesul de depunere radială este caracterizat de o independență ridicată prezentând avantajul unui singur modul atât pentru focalizarea razei laser cât și pentru pulverizarea materialului de adaos.

Capetele de depunere pentru injectare radială sunt construite din trei componente conice, concentrice care permit direcționarea laserului, a pulberii furnizate de gazul transportor și a gazului pentru modelarea jetului de pulbere. Aceste module conice de depunere sunt din cupru și sunt răcite cu apă pentru a împiedica pulberea să adere pe suprafața duzei.

În [11,12,13] este descris principalul avantaj al acestei metode de depunere ca fiind controlul ridicat al temperaturii materialului de adaos înainte de interacțiunea cu baia de metal topit.

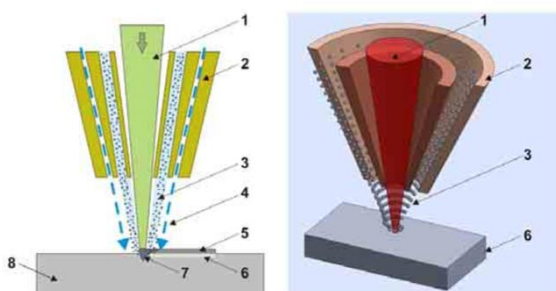


Figura 5. Depunere cu fascicul laser și pulbere injectată radial. 1- fascicul laser, 2- modul optic de focalizare, 3- material de adaos și gaz transportor, 4- gaz de modelare, 5- material depus, 6- zona influențată termic, 7 baie de metal topit, 8- material de bază[6,7]

În [14] este menționat că, la trecerea fasciculului laser prin jetul de pulbere o parte din energia razei laser este absorbită de către pulbere, o parte interacționează cu materialul de bază, iar o parte este reflectată atât de către pulbere cât și de suprafața materialului de bază

2.3 Exemple industriale de succes folosind tehnologia de depunere cu fascicul laser

Una dintre cele mai cunoscute aplicații este partea tăietoare a componentelor de găurire a mașinilor extractoare de petrol (vezi figura 6). Carbură de W este depusă pe componenta cilindrică, care

protejează dispozitivele electronice sensibile din procesul găurire, ca instalația să fie ghidată prin sol. În această situație, se utilizează depunere de carbură de wolfram care asigură cea mai bună protecție și cel mai bun timp de funcționare. Controlul precis al parametrilor de proces duce la o grosime a depunerii fin controlate, care necesită o prelucrare mai ușoară și evitarea pulverizării pulberilor în exces. Un alt exemplu, îl constituie, lamele rezistente la uzură folosite în industria agricolă. Procesul de depunere de pulberi permite ajustarea conținutului de carbură și stabilirea grosimii stratului foarte precis datorită controlului precis asupra parametrilor de procesare. Rezultatul final fiind un produs premium care are capacitatea de a rezista un timp îndelungat.

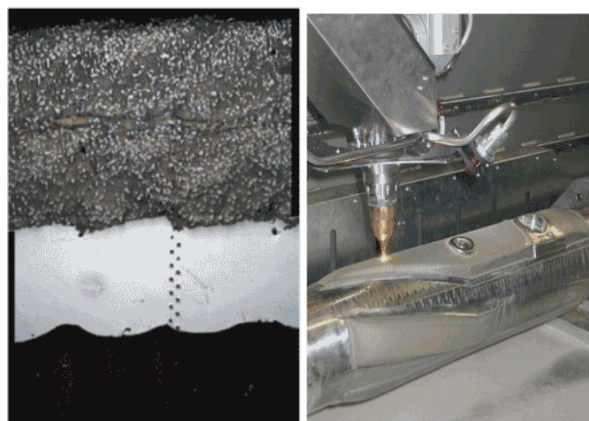


Figura 6. Sistem de acoperire: Multistrat

În industria petrochimică, procesul de acoperire cu laserul îmbunătățește rezistența la uzură și la coroziune. Procesul de depunere de pulberi metalice are tendință de creștere în repararea componentelor scumpe care sunt încă funcționale. De asemenea, o altă aplicație o reprezintă repararea paletelor turbinelor de aeronave. Acesta este motivul pentru care companiile de servicii de transport aerian lucrează din greu la procesele de reparare, care permit margini deteriorate sau sparte a fi reconstruite cu geometrie și materiale proprietățile originale. Laserul permite o șirag de mărgelile fine de material sub formă de pulbere aerospațială a fi depuse la o cantitate minimă de căldură, menținând proprietățile materialului și reducerea denaturării termice. (Vezi figura 7).



Figura 7. Pulbere de stellite

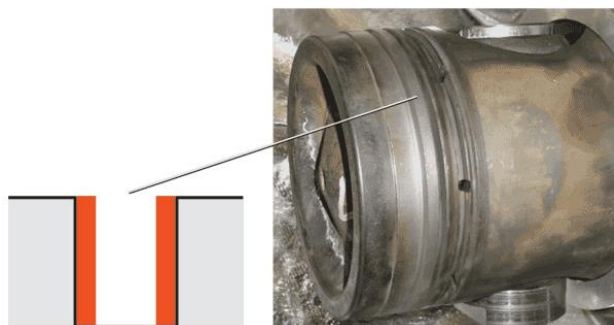


Figura 8. Depunere de pulberi (stellite) pe pistoanele din motoarele diesel auxiliare în patru timpi

Industria motoarelor marine preconizează, de asemenea, repararea componentele vechi, deși valoarea materialului nu este aproape la fel de mare ca cea a blisk-urilor (rotoare cu lame multiple). În schimb, ei sunt interesați în modul de a repara mai ușor și economic cantități mari într-un mod extrem de automatizat. Pe pistoanele din motoarele diesel auxiliare în patru timpi, se produce o sarcină pe prima canelură de pe segmentul de piston (vezi figura 8). Acest segment de canelură este expus mai direct la coroziunea din gazele de ardere și la particulele dure din combustibil decât următorii segmenti. Ca urmare, uzura substanțială poate fi deseori văzută aici, cu toate că pistonul însuși demonstrează doar o uzură minimă, cum ar fi arderea pe coroana pistonului. Cu toate acestea, prejudiciul de uzură a canelurii inelului este atât de importantă încât întregul pistonul trebuie să fie înlocuit sau reparat. Până de curând, nu au existat procese de reparații care au permis geometria inițială a canalului pentru a fi restaurat. Cerințele sunt : o accesibilitate bună la geometriile strânse, de mare precizie și reproductibilitate, nici o deteriorare a materialului de bază, niciun fel de denaturare termică, un nivel ridicat de automatizare, reducerea post-procesare datorită locației, depunere și grosime precisă, îmbunătățirea proprietăților de uzură prin selecție de materiale adecvate pentru acoperire. Proceselor de depunere convenționale nu pot realiza toate aceste cerințe, în special accesibilitatea, reproductibilitatea, și sarcinile termice reduse.

2.4 DEPUNERE DE PULBERI METALICE CU LASER : Satisfacere unică a nevoii

Singura tehnologie care poate veni în întâmpinarea cerințelor de tipul celor prezentate și a altor procese asemănătoare este depunerea de metal cu laser. Datorită distanței de lucru, fasciculul laser și jeturile de pulbere pot îndeplini cerințe de prelucrare foarte fine și geometrii greu de acces. În plus, capul de procesare este suficient de compact încât să poată fi ghidat de un robot sau un instrument de mașină mică (vezi figura 2). Fasciculului și pulberea metalică sunt ambele controlate de calculator, care rezultă într-un sistem global extrem de automatizat. În cazul pistoanelor, testele de laborator arată că zona afectată de căldură rămâne scăzut, cu o grosime de aproximativ 150 μm , și nu influențează proprietățile de utilizare ale pistonului. Pistoanele recondiționate sunt în prezent testate în domeniu, iar rezultatele sunt promițătoare, confirmând ceea ce testele de laborator au sugerat deja. Pistoanele recondiționate sunt nu numai la fel de bune ca cele noi, ele sunt de fapt mai bune decât pistoanele noi. După 4500 oră de funcționare, ingineri au măsurat uzură minimă pe piese, mai bine decât prima canelură a unui inel pe de un alt piston nou montat pe aceeași mașină.

Rezultatele sunt convingătoare și unii producători de motoare sunt interesați de utilizarea procesului, scopul fiind de a oferi o a doua linie de producție alături de pistoanele noi. Procesul LMD va oferi companiei o modalitate de a concura cu furnizorii de piese de schimb ieftine - o înaltă calitate a pieselor cu garanția producătorului. În plus, aplicațiile din domeniul turbinelor, forajului petrolier și terenurilor agricole sunt rezultate încurajatoare care să justifice economia procesului.[1]

3. SETĂRI EXPERIMENTALE

3.1 Sistemul de depunere de pulberi

Am folosit un braț robotic de mare viteză cu 6 axe, cu dimensiunea fibrei optice de 600 μm . Caracteristica principală a robotului este precizia de poziționare, de 100 μm . Se pot executa 3 tipuri de procese prin schimbarea celor 3 pachete tehnologice de care dispune, și anume, tăiere, sudare și depunere de pulberi (vezi figura 9). Sistemul dispune de un pachet tehnologic de depunere de pulbere injectată radial, special conceput în funcție de caracteristicile fasciculului laser. Se pot depune 2 tipuri de pulbere simultan, prin intermediul dozatorului de pulberi(vezi figura 10). Pulberile metalice au dimensiuni între 40-90 μm .



Figura 9. TruLaser Robot 5020



Figura 10. Pachetul tehnologic de depunere de pulberi și dozatorul de pulberi

Prin fibră optică radiația laser este transportată la sistemul robotizat. Sistemul laser folosit este un laser solid de tip Yt:YAG, având o putere maximă pe piesa de 3 Kw și lungime de undă 1030 nm, radiația laser fiind invizibilă (vezi figura 11).



Figura 11. Sistem laser TruDisk 3001

4. CONCLUZII GENERALE

Încărcarea coaxială cu laser și pulbere asistată de un braț robotizat permite realizarea de straturi depuse cu o geometrie complexă

Depunerea cu laser reprezintă cea mai nouă tehnologie de acoperire a suprafețelor metalice în vederea îmbunătățirii proprietăților mecanice.

Depunerea cu laser și pulberi metalice conferă stratului depus caracteristici mecanice superioare materialului de bază.

Procesul de depunere cu laser este caracterizat de timpi scurți de încălzire - răcire a băii de metal topit, fapt care ridică probleme majore privind fenomenului de călire superficială a materialului de bază și a pericolului de fisurare la cald, mai ales la depunerile cu pulberile înalt aliate.

Procesul de încălzire cu laser și pulberi metalice este puternic influențat de parametrii de proces. Este obligatorie corelarea exactă a parametrilor principali (putere, viteză, cantitate de pulbere) și a celor secundari (geometria spotului laser, forma jetului de pulbere, natura și cantitatea gazului de protecție) pentru obținerea unor depuneri rezistente și cu o diluție cât mai mică.

Studiul amănunțit realizat în literatura de specialitate a arătat că tehnologia de încălzire cu laser este o tehnologie nouă, modernă, dar insuficient dezvoltată. Acest lucru se datorează în primul rând gradului de noutate al proceselor, dar și costurilor ridicate atât pentru cercetarea în acest domeniu cât și pentru implementarea ulterioară în producția de masă.

4.1 Contribuții originale

Se va realiza o sinteză amănunțită a tehnologiei de depunere cu laser și pulberi metalice.

Se vor determina experimental parametrii tehnologici optimi pentru depunerea cu laser a pulberi LPW-WC-CO-6-1 (Carbură de wolfram).

Se vor executa teste de microduritate și compoziție chimică.

Sesiunea Științifică Studențească, 15-16 mai 2015

5. BIBLIOGRAFIE

- [1] <http://www.trumpf-laser.com/en/products/laser-systems/3d-laser-processing-systems/trulaser-robot-5020.html> Accesat la data de 15/05/2015
- [2] Staicu Adrian Răzvan Teza de doctorat "Recondiționarea cu laser și pulberi metalice a poansoanelor utilizate la presele de îndoit de tip abkant" Universitatea "Transilvania" din Brasov 2013
- [3] Ionescu C., Munteanu A., Munteanu D., „Comportamentul tribologic al straturilor tip Ti-Si-C depuse la temperaturi scăzute”, RECENT, Vol. 9, no. 2(23), July, 2008
- [4] Li, Y., Steen, W.M., Sharkey, S., "Laser remelting of plasma sprayed coatings on nuclear valves", Proc. "ICLOE '92", SPIE, vol. 1979, pp. 594-601, 1992
- [5] Mihail Cristea – Fizica generală. Elemente de fizică cuantică. Laseri
- [6] HaydenCorp, http://www.haydencorp.com/content.php?p=laser_metal_deposition
Accesat la data de 15/05/2015
- [7] Industrial laser solutions, <http://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-250/issue-6/features/lasermetal-deposition.html>
Accesat la data de 15/05/2015
- [8] Nowotny, S., Richter, A., și Beyer, E., "Laser cladding using high power diode lasers", Proceedings, ICALEO '98, the International Congress on Applications of Lasers and Electro-Optics, pp. G68 – G74, 1998.
- [9] Vetter, P.-A., Engel, T., and Fontaine, J., "Laser Cladding: The relevant parameters for process control", Proceedings "Laser Materials Processing: Industrial and Microelectronics Applications", SPIE, Vol. 2207, pp. 452 – 462, 1994.
- [10] Jouvard, J.-M., și alții, "Continuous wave Nd:Yag laser cladding modeling: a physical study of track creation during low power processing", "Journal of Laser Applications", Volume 9, pp. 43 – 50, 1997.
- [11] Lemoine, F., Grevey, and D.F., Vannes, A.B., "Indirect determination of the absorptance during Nd:Yag laser-matter interaction", Lasers in Engineering, Vol. 4, pp. 273 – 279, 1995
- [12] Vetter, P.-A., Engel, T., and Fontaine, J., "Laser Cladding: The relevant parameters for process control", Proceedings "Laser Materials Processing: Industrial and Microelectronics Applications", SPIE, Vol. 2207, pp. 452 – 462, 1994.
- [13] Von Wielligh, L.G., "Characterizing the influence of process variables in laser cladding al-

20wt%Si onto an aluminium substrate", Teză de doctorat, Faculty of Engineering, The built environment and Information Technology at the Nelson Mandela Metropolitan University, 2008