

**STRATURI REZISTENTE LA UZURĂ
OBTINUTE PRIN METODA -
LASER SINTERING (2)**

Șef lucrări dr.ing. Ciofu Florin
Universitatea „Constantin Brâncuși” din Tg
Jiu

Keywords: pulbere, alumina, atmosferă de protecție, suprafața grăunților

Abstract: Esența procesului de obținere a produselor prin agregare de pulberi metalice o constituie operațiile de formare și de sinterizare care determină apariția, creșterea și stabilizarea suprafețelor de contact, însoțite de realizarea legăturilor de coeziune interatomice între particule.

Un corp format din pulberi metalice reprezintă un sistem termodinamic instabil, stare determinată de finețea pulberilor, rugozitatea suprafețelor granulelor, forma lor, gradul de ecruisare pe zonele deformate, defectele rețelelor policristaline la suprafața granulelor (vacanțe, dislocații) etc.

1.Introducere

În această lucrare vor fi prezentate câteva studii privind depunerile unor straturi rezistente la uzură pe suprafața unor piese din materiale obișnuite, uzuale, printr-o tehnologie relativ nouă – *laser sinterig*.

Experimente similare celor prezentate în această lucrare, au fost descrise în lucrări anterioare, atât din punct de vedere al mecanicii obținerii probelor, cât și din punct de vedere al observațiilor și interpretării rezultatelor obținute [5,6,7,8,9,10].

Astfel, în această lucrare va fi prezentat un experiment prin care am obținut câteva probe dintr-un material de bază – OL 37, pe suprafața căruia am depus cu ajutorul tehnologiei laser-sintering, straturi de pulberi metalice de Al_2O_3 , în diferite grosimi.

Caracteristicile fizico-chimice superioare ale ceramicii oxidice sunt determinate de

**WEAR RESISTANT COATINGS
OBTAINED BY THE METHOD -
LASER SINTERING (2)**

Lecturer Ciofu Florin,
Constantin Brâncuși University of Târgu
Jiu, florin.ciofu@utgjiu.ro

Keywords: powder, alumina, protective atmosphere, grains surface

Abstract: The essence of process for production of metal powders by aggregation is the formation and sintering operations that cause growth and stabilization of the contact surfaces, together with connections interatomic cohesion between particles.

A body of metal powders is a thermodynamically unstable state due to the smoothness powder, grains surface roughness, form, degree of hardening in deformed areas, surface defects at grain polycrystalline networks (vacations, dislocations), etc.

1.Introduction

In this paper will be presented several studies on deposition of wear resistant layers on the surface of pieces of ordinary materials, common, a relatively new technology - laser sintering.

Experiments similar to those presented in this paper were described in their previous works, both in terms of the mechanics of obtaining evidence and in terms of observations and interpretation of results [5,6,7,8,9,10].

Such, this paper will be presented an experiment in which we obtained some evidence of a material base - OL 37, which I deposited on the surface of laser-sintering technology, metal powders of Al_2O_3 layers in different thicknesses. The physico-chemical features upper

conținutul redus sau absența fazei vitroase, aspect ce constituie un obiectiv principal în procesarea ceramicii. Oxidul de aluminiu Al_2O_3 constituie elementul principal al ceramicii și se găsește în stare naturală sub denumirea de corindon, care poate fi incolor sau diferit colorat ca: rubinul (roșu), safirul (albastru), topazul (galben).

Temperatura de sinterizare a ceramicii pe bază de Al_2O_3 este cuprinsă între $1550^{\circ}C$ și $1650^{\circ}C$. Coborârea temperaturii de sinterizare se realizează prin introducerea în compoziția amestecului de materii prime a unor fondanți mineralizatori, care influențează favorabil prelucrarea ulterioară și caracteristicile produsului, prin formarea de topituri care acționează ca lianți între particulele de alumina [1].

Metoda depunerilor de straturi din materiale cu o anumită caracteristică peste un material de bază uzual oferă numeroase avantaje, în care cel mai important este cel economic.

Combinarea celor două materiale prezintă propriități fizico-mecanice foarte bune, o bună compatibilitate, rezistență la uzură, cu aplicații variate:

- reconstrucție maxilo-facială utilizând pulberile ceramice Al_2O_3 ;
- fabricarea de diferite elemente ale chirurgiei plastice;
- înlocuirea unor segmente osoase;
- în tehnica dentară, alumina este o componentă foarte utilizată în implanturile cu porțelan;

2. Studiul experimental

2.1. Materialele folosite

Depunerile s-au făcut pe suprafețele plane a unei piese din OL 37 [6,7,8,9]. Dimensiunile piesei de formă paralelipipedică sunt: $h=4mm$, $L=80mm$, $l=50mm$. Caracteristicile materialului de bază sunt prezentate în tabelele 1 și 2 [1].

oxide ceramics are determined by low content or absence of vitreous phase, something that is a primary goal in ceramic processing.

Aluminum oxide Al_2O_3 ceramics is the main element and is found in nature as corundum, which may be colorless or colored differently as: ruby (red), sapphire(blue), topaz (yellow).

Temperature sintering ceramics based on Al_2O_3 is between $1550^{\circ}C$ and $1650^{\circ}C$.

Descent sintering temperature is achieved by introducing the mixture of raw material composition of mineralized flux, influencing the subsequent processing and product characteristics, the formation of melts which act as binders between alumina particles [1].

Method deposition of layers of materials with a characteristic usually over a base material offers many advantages, the most important is economic.

Alumina Al_2O_3 as high density and high purity (>99.5%) was the first bioceramic material widely used in various clinical applications.

The combination of excellent properties, corrosion resistance, good compatibility, high wear resistance, outstanding mechanical properties, is used in the following areas:

- maxillofacial reconstruction using Al_2O_3 -based ceramics as bone cavity filling material;

- various plastic surgery to achieve the alveoli of alumina, hydroxyapatite and alumina ceramic composites;

- the construction of various medical devices as sensors, electrodes, pacemakers, etc..;

- replacement of bone segments;

- in dental ceramics, aluminum oxide powder is a primary component in dental porcelain;

2. Experimental study

2.1. The materials used

Deposits were made on flat surfaces of a piece of OL 37 [2,3]. Rectangular shaped piece dimensions are: h = 4mm, L = 80mm, l = 50mm. Basic material characteristics are presented in Tables 1 and 2 [1].

Tabel 1. Compoziția chimică a oțelului OL 37.

Oțel	Compoziția chimică [%]				
	C	Mn	Si	P _{max}	S
OL 37	0,20...	0,26...	0,17...	max	max
	0,22	0,80	0,37	0,055	0,055

Table 1. The chemical composition of steel OL37.

Steel	Chemical composition [%]				
	C	Mn	Si	P _{max}	S
OL 37	0,20...	0,26...	0,17...	max	max
	0,22	0,80	0,37	0,055	0,055

Tabel 2. Caracteristicile mecanice ale oțelului OL 37.

Oțel	Stare de livrare		Grosimea produsului mm	Caracteristici mecanice				Principalele domenii de utilizare
	Normalizat	Recoptat		σ _r	σ _c	A5	KCU	
	HB _{max} daN/mm ²			MPa	MPa	%	J/cm ²	
OL37	135	150	<16	370-450	210-240	25	60	Piese tratate termic, cu rezistență mecanică ridicată

Table 2. Mechanical characteristics of steel OL37.

Steel	Delivery status		Thickness product mm	Mechanical characteristics				Main areas of use
	Normalized	Annealing		σ _r	σ _c	A5	KCU	
	HB _{max} daN/mm ²			MPa	MPa	%	J/cm ²	
OL37	135	150	<16	370-450	210-240	25	60	Parts heat treated, high mechanical strength and toughness average.

Stratul adițional depus va fi constituit dintr-o pulbere din Al₂O₃. Alumina pură Al₂O₃. Pure alumina (> 99.5%) has been

(>99,5%) a fost folosită încă din anii '70, ca material pentru implanturi, în mod special pentru protezele articulare și dinți, datorită proprietăților mecanice bune și a biocompatibilității cu țesuturile. Caracteristicile pulberii Al_2O_3 sunt prezentate în tabelul 3 [1].

used since the '70s, as material for implants, especially for artificial joints and teeth, due to its good mechanical and biocompatibility with tissues. Al_2O_3 powder characteristics are presented in Table 3 [1].

Tabelul 3. Caracteristicile pulberii de Al_2O_3

Proprietăți fizice		Proprietăți termice	
Densitate	3,96 [g/cm ³]	Coeficient de dilatare liniară (250°C)	7,4 [μm/(m°C)]
Constanta rețelei	4,7591 [Å]	Coeficient de dilatare liniară (1000°C)	8,2 [μm/(m°C)]
Greutate moleculară	101,961 [g/mol]	Conductivitate termică	30 [W/(mK)]
Modul Weibull	10	Punct de topire	2054 °C
Proprietăți mecanice		Punct de fierbere	3000 °C
Duritate (Vickers)	1365	Proprietăți optice	
Microduritate (Vickers)	2085	Indice de refracție	1,761
Rezistența la rupere	300 [MPa]	Descriere	
Modul de elasticitate	370 [GPa]	Culoare	albă
Rezistența la încovoiere	400 [MPa]	Structură cristalină	romboedrică
Rezistența la compresiune	3000 [MPa]	Mărimea granulelor	15-20 [μm]

Table 3. Characteristics of Al_2O_3 powder

Physical properties		Thermal properties	
Density	3,96 [g/cm ³]	Linear expansion coefficient (250°C)	7,4 [μm/(m°C)]
Constant matrix	4,7591 [Å]	Linear expansion coefficient (1000°C)	8,2 [μm/(m°C)]
Molecular weight	101,961 [g/mol]	Thermal conductivity	30 [W/(mK)]
Module Weibull	10	Melting point	2054 °C
Mechanical properties		Boiling point	3000 °C
Hardness (Vickers)	1365	Optical properties	
Microhardness (Vickers)	2085	Refractive index	1,761
Tensile strength	300 [MPa]	Description	
Elastic modulus	370 [GPa]	Color	White
Resistance to bending	400 [MPa]	Crystalline structure	Rhombohedral
Compressive strength	3000 [MPa]	Grain size	15-20 [μm]

2.2. Echipamentul utilizat

2.2. Equipment used

Experimentele au fost realizate în două etape, în atelierele de producție ale firmei Phoenix&CO Sibiu. Din cauza faptului că primele încercări s-au realizat în absența unui mediu de sinterizare - atmosferă protectoare, piesele obținute nu au putut fi relevante pentru a se constitui în probe pe care să se facă unele măsurători. De altfel, în figura 1 se prezintă aspecte de la un astfel de experiment.



Fig. 1. Depunere pe suprafața unei bucăți material din OL 37 de grosime 4mm.

Fig. 1. Deposition on the surface of a piece of 4mm thick material OL37.

The experiments were run in two stages, purposes to production workshops Phoenix & CO company Sibiu. Because the first attempts were made without a sintering environment - a protective atmosphere, parts could not be obtained to provide the relevant evidence on which to make some measurements

In fact, Figure 1 shows the aspects of such an experiment [1].

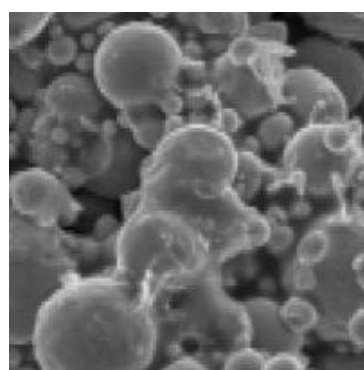


Fig.2. Particule Al₂O₃ (99,5%), sinteriza ajutorul fasciculului laser pe suprafață OL 37 (electronic1500x).

Fig.2. Al₂O₃ particles (99.5%), sinter laser beam on the surface (electronic1500x).

În consecință, experimentele s-au repetat, de această dată în mediu protector de gaz (CO₂). Sinterizarea a fost efectuată la o temperatură de aproximativ 1550°C. Instalația laser a fost reglată la o putere de 200W. Densitatea de putere s-a reglat la 700W/mm², iar diametrul focarului laser redus la 300μm. În micrografie (fig.2) se observă că sinterizarea are loc în prezența fazei solide, lucru confirmat de prezența porilor.

2.3. Mecanismele sinterizării

Un corp format din pulberi metalice

Therefore, experiments were repeated, this time in the protective environment of gas (CO₂). Sintering was performed at a temperature of about 1550°C. Laser installation was set to an output of 200W. Power density was adjusted to 700W/mm² and diameter laser outbreak are reduced to 300μm. In micrography (Fig. 2) shows that sintering in the presence of solid phase, as confirmed by the presence of pores.

2.3. Sintering mechanisms

A body of metal powders is a thermodynamically unstable state due to the

reprezintă un sistem termodinamic instabil, stare determinată de finețea pulberilor, rugozitatea suprafețelor granulelor, forma lor, gradul de ecrusare pe zonele deformate, defectele rețelelor policristaline la suprafața granulelor (vacanțe, dislocații) etc. Activarea termică a unui asemenea sistem, prin încălzirea pentru sinterizare, produce trecerea lui într-o stare mai apropiată de echilibru prin reducerea suprafeței libere [10].

Pe lângă aceste fenomene, la sinterizare are loc și o înmuiere, adică o reducere a rezistenței la deformare a grăunților cristalini din particule, conducând la curgerea vâscoasă. Tensiunii superficiale a materialului granulelor i se opune o rezistență slăbită a grăunților cristalini în zonele de contact. Valoarea tensiunii superficiale depășește tensiunea critică de fluaj la temperatura respectivă și determină deplasări ale planelor de alunecare, deci un transport de masă prin curgerea în stare vâscoasă a materialului.

Durata de sinterizare trebuie corelată cu gradul de sinterizare necesar, respectiv cu parametrii structurali impuși și mai depinde de dimensiunile semifabricatului.

Mediul de sinterizare (atmosfera protectoare) intervine în procesele care au loc în straturile superficiale ale materialelor în timpul sinterizării. Prin alegerea judicioasă a acestor medii se pot obține atât proprietăți superioare cât și reducerea duratei și a temperaturii de sinterizare.

Materia se deplasează sub influența energiei de suprafață din vecinătatea suprafețelor convexe la cea a suprafețelor concave prin mecanismele de transport de material. Procesele de transport de material determină creșterea legăturilor între particule generându-se astfel fenomenul de contracție în timpul sinterizării.

Mecanismele care contribuie la aderarea particulelor între ele, adică la formarea gâturilor între granule sunt mecanismele de curgere vâscoasă. Zonele de contact nou formate între granulele pulberilor, numite

smoothness powder, grains surface roughness, form, degree of hardening in deformed areas, surface defects at grain polycrystalline networks (vacations, dislocations), etc. Thermal activation of this system, by heating for sintering, produces transition of a state nearest equilibrium by reducing the free surface [6]. Except these phenomena, same time with the sintering it takes place a process of softening, namely a reduction of the resistance to deformation of the crystalline grains from the particles, leading to the viscous flow. To the superficial tension of the material of the grains it is opposed a weakened resistance of the crystalline grains on the contact zones. The value of the superficial tension exceeds the critical tension of flowing – creep tension, at the respective temperature and determines displacings of the gliding plans, therefore a mass transport by the flow in the viscid state of the material.

During the sintering, next to the effect of the body contraction, it is produced the continuous reduction of the porosity by the decreasing the dimensions and the form of the eyepores.

Sintering environment (protective atmosphere) occurs in the processes that occur in the superficial layers of materials during sintering. Through judicious selection of these media properties can be obtained so upper and reducing the time and sintering temperature.

Material moves under the influence of surface energy at the convex surface near the concave surface of the material transport mechanisms. Processes of material transport links between particles increases thus generating the phenomenon of shrinkage during sintering.

Mechanisms that contribute to the particles to adhere to each other, that is the formation of necks between grains are the mechanisms of viscous flow. Contact areas between the newly formed powders grains, named intergranular necks or bridges, will have two common crystalline grains originating grain,

gături sau punți intergranulare, vor avea grăunți cristalini comuni celor două granule originare, realizând îmbinarea lor.

2.4. Probele obținute

S-au realizat patru probe: pe plăci din OL 37 cu dimensiunile $h=4\text{mm}$, $L=80\text{mm}$, $l=50\text{mm}$ s-au depus straturi de pulbere Al_2O_3 cu grosimea de $0,2\text{mm}$; $0,6\text{mm}$; 1mm respectiv $1,2\text{mm}$ sinterizate cu ajutorul unui fascicul laser (fig.3, fig.4, fig.5, fig.6).

making their joints. Micrographic seen from the sintering is complete because of implementation bridges between particles, ie intergranular necks.

2.4. Specimens obtained

There have been four samples: the OL 37 plates with dimensions $h = 4\text{mm}$, $L = 80\text{mm}$, $l = 50\text{mm}$ were deposited Al_2O_3 powder layer thickness of 0.2mm , 0.6mm , 1mm or 1.2mm sintered laser beam (fig.3, fig.4, fig.5, fig.6).

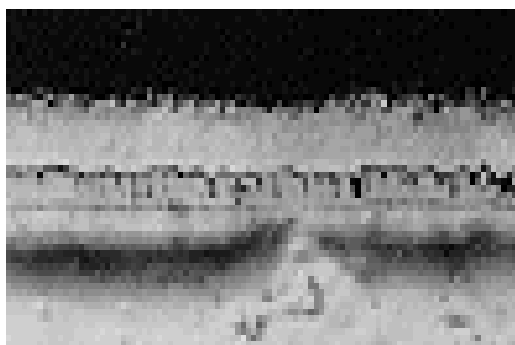


Fig.3. Depunere de pulbere Al_2O_3 (99,5%) pe suport OL 37 (grosimea stratului depus $h = 0,2\text{ mm}$, optic 100x)

Fig.3. Deposition of powder Al_2O_3 (99,5%) on the support OL 37 (thickness deposited $h = 0,2\text{ mm}$, optic 100x)

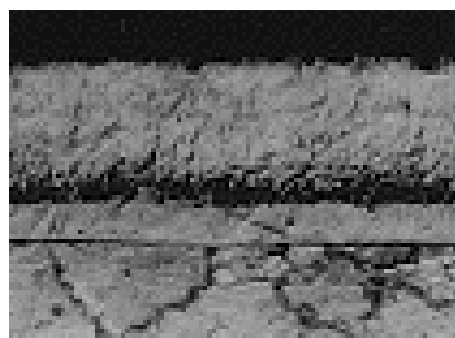


Fig.4. Depunere de pulbere Al_2O_3 (99,5%), pe suport OL 37 (grosimea stratului depus $h = 0,6\text{ mm}$, opt. 100x)

Fig.4. Deposition of powder Al_2O_3 (99,5%) on the support OL 37 (thickness deposited $h = 0,6\text{ mm}$, optic 100x)



Fig.5. Depunere de pulbere Al_2O_3 (99,5%) pe suport OL 37 (grosimea stratului depus $h = 1\text{ mm}$, optic 100x)

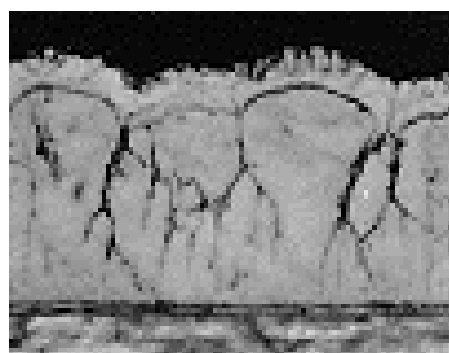


Fig.6. Depunere de pulbere Al_2O_3 (99,5%), pe suport OL 37 (grosimea stratului depus $h = 1,2\text{ mm}$, opt. 100x)

Fig.5. Deposition of powder Al_2O_3 (99,5%) on the support OL 37 (thickness deposited $h = 1$ mm, optic 100x)

Fig.6. Deposition of powder Al_2O_3 (99,5%) on the support OL 37 (thickness deposited $h = 1,2$ mm, optic 100x)

3. Determinări efectuate

În vederea determinării rezistenței la uzură s-a folosit un stand de laborator cu următoarele caracteristici:

Tip contact: plan, liniar sau punctual.
Mișcare de alunecare – viteze de alunecare cuprinse între 0.000001 și 0.018 m/s.
Presiuni de contact: 0.1 MPa...5 GPa
Testarea materialelor și straturilor dure sau moi la viteze mici și foarte mici
Regimuri de frecare: tehnic uscat, limită și mixt.

Utilizare:

- experimentări privind pașaportul tribologic pentru orice material sau strat depus;
- determinarea grosimilor straturilor depuse și aderenței la materialul suport;
- determinarea parametrilor mișcării sacadate (fenomenul de stick-slip).

Probele au fost testate timp de 60 minute, măsurătorile înregistrându-se la intervale de 15 minute. În tabelul 4 sunt prezentate valorile înregistrate în urma testării materialului de bază iar în tabelul 5 valorile înregistrate în urma testării probelor cu straturile depuse. Regimul de frecare este unul uscat.

3. Measurement performed

To determine the wear resistance using a laboratory bench with the following features:

Contact type: plan, linear or punctual.

Sliding motion -

sliding speeds between 0.000001 and 0.018 m/s.

Contact pressure: 0.1 MPa 5 Gpa.

Testing materials and hard

and soft layers at low speeds and very small.

Friction regimes: technical dry, old and mixed.

Application:

- tribological experiments on the passport for any material or layer deposited;
- deposited layer thickness determination and adherence to material support;
- parameters determining the movement jerky (stick-slip phenomenon).

Samples were tested for 60 minutes, measurements recorded every 15 minutes. In Table 4 the values registered from testing the base material and values registered and in Table 5 of the test samples with the deposited layers. Each dry friction regime.

Tabel 4. Valorile măsurătorilor efectuate în vederea determinării uzurii probei OL 37 (fără strat depus)

Nr. crt.	Procent Al_2O_3 [%]	Forța [N]	Masa inițială M_i [g]	Masa finală M_f [g]	Vârți a masică ΔM [g]	Viteza de alunecare V_a [m/s]	Timp [min]			
							0	15	30	45
							ΔM_i [g]			
1	0	100	133,64	131,32	2,32	0,01	0	0,25	0,53	0,81

Tabel 4. Values of measurements made to determine wear OL37 sample (uncoated submitted)

Nr. crt.	Proportio n Al ₂ O ₃ [%]	Force [N]	Initial mass M _i [g]	Final mass M _f [g]	Mass variatio n ΔM [g]	Sliding speeds V _a [m/s]	Time [min]			
							0	15	30	45
							ΔM _i [g]			
1	0	100	133,64	131,3 2	2,32	0,01	0	0, 25	0, 53	0,81

Tabel 5. Valorile măsurătorilor efectuate în vederea determinării uzurii probei Al₂O₃

Grosim ea stratulu i depus [mm]	Procent t Al ₂ O ₃ [%]	Forța [N]	Masa inițială M _i [g]*	Masa finală M _f [g]	Variți a masic ă ΔM [g]	Viteza de alunecar e V _a [m/s]	Timp [min]			
							0	15	30	45
							ΔM _i [g]			
0,2	99,5%	100	135,89	135,4 3	0,46	0,01	0	0,07	0,16	0,11
0,6			142,36	141,8 5	0,51		0	0,09	0,15	0,13
1,0			148,41	147,9 1	0,50		0	0,07	0,18	0,15
1,2			154,52	154,0 7	0,45		0	0,05	0,12	0,16

* - împreună cu materialul de bază;

Tabel 5. Valorile măsurătorilor efectuate în vederea determinării uzurii probei Al₂O₃

Thickne ss deposi te d [mm]	Proporti on Al ₂ O ₃ [%]	Forc e [N]	Initial mass M _i [g]	Final mass M _f [g]	Mass variati on ΔM [g]	Sliding speeds V _a [m/s]	Time [min]			
							0	15	30	45
							ΔM _i [g]			
0,2	99,5%	100	135,89	135,4 3	0,46	0,01	0	0,07	0,16	0,11
0,6			142,36	141,8 5	0,51		0	0,09	0,15	0,13
1,0			148,41	147,9 1	0,50		0	0,07	0,18	0,15
1,2			154,52	154,0 7	0,45		0	0,05	0,12	0,16

* - with the base material;

4. Concluzii

Interpretând rezultatele măsurătorilor efectuate, se putem să concluzionăm astfel:

4. Conclusions

Performing results of measurements, we can conclude the following:

-La limita de depunere, în apropierea materialului de bază, rezistența la uzură este considerabil mai mare decât cea a însăși materialului de bază;

-Se constată că odată cu modificarea grosimii stratului depus, prin creșterea acestuia, se modifică, tot printr-o creștere, rezistența la uzură;

-Pierderile masice sunt substanțial mai reduse în straturile depuse decât în materialul de bază, dovedind astfel rezistența la uzură a aluminei;

-Pierderile masice sunt mai mari la limita de depunere descrescând cu grosimea stratului depus, dovedind astfel că un strat mai gros asigură o mai bună rezistență la uzură;

Bibliografie

- [1] Boch, P., Niepce, J.-C., *Ceramic Materials - Processes, Properties and Applications*, ISTE Ltd, 2007, pp. 199-209;
- [2] Bourell D. L, H. L. Marcus, J. W. Barlow, and J. J. Beaman, - *Selective laser sintering of metals and ceramics*, Int. J. Powder. Met., 28, No. 4, 369-381 (1992)
- [3] Brinkman H.J., F. Zupanic, J. Duszczyk, L. Katgerman; - *Production of Al-Ti-C grain refiner alloys by reactive synthesis of elemental powders: Part I. Reactive synthesis and characterization of alloys*. Journal of Materials Research, 15/12 (2000) 2620-2627. ISSN: 0884-2914;
- [4] Brinkman H.J., F. Zupanic, J. Duszczyk, L. Katgerman; - *Production of Al-Ti-C grain refiner alloys by reactive synthesis of elemental powders: Part II. Grain refining performance of alloys and secondary processing*. Journal of Materials Research, 15/12 (2000) 2628-2635; ISSN: 0884-2914;
- [5] Ciofu Florin – *Asupra aplicării laserului ca sursă energetică în progesul de agregare/depunere a unor pulberi metalice*, Teza de doctorat, Sibiu, 2007
- [6] Ciofu Florin - *Experimental studies on the laser depositions of the Al₂O₃ powder on the plane surfaces*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological

-The deadline for submitting, near the base material, wear resistance is considerably higher than the base material itself;

-The modification states that the deposited layer thickness, by increasing its changes, all with increased resistance to wear;

-Loss of mass in the layers are substantially lower than the basic material submitted, proving the wear resistance of alumina;

-Are higher mass-loss limit for submission decreasing thickness layer, proving that a thicker layer provides better wear resistance;

References

- [1] Boch, P., Niepce, J.-C., *Ceramic Materials - Processes, Properties and Applications*, ISTE Ltd, 2007, pp. 199-209;
- [2] Bourell D. L, H. L. Marcus, J. W. Barlow, and J. J. Beaman, - *Selective laser sintering of metals and ceramics*, Int. J. Powder. Met., 28, No. 4, 369-381 (1992)
- [3] Brinkman H.J., F. Zupanic, J. Duszczyk, L. Katgerman; - *Production of Al-Ti-C grain refiner alloys by reactive synthesis of elemental powders: Part I. Reactive synthesis and characterization of alloys*. Journal of Materials Research, 15/12 (2000) 2620-2627. ISSN: 0884-2914;
- [4] Brinkman H.J., F. Zupanic, J. Duszczyk, L. Katgerman; - *Production of Al-Ti-C grain refiner alloys by reactive synthesis of elemental powders: Part II. Grain refining performance of alloys and secondary processing*. Journal of Materials Research, 15/12 (2000) 2628-2635; ISSN: 0884-2914;
- [5] Ciofu Florin – *Asupra aplicării laserului ca sursă energetică în progesul de agregare/depunere a unor pulberi metalice*, Teza de doctorat, Sibiu, 2007
- [6] Ciofu Florin - *Experimental studies on the laser depositions of the Al₂O₃ powder on the plane surfaces*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological

- Engineering,IMT Oradea 2009,CNCSIS"Clasa B+"
- [7] Ciofu Florin - *Experimental studies on the laser deposits with Al₂O₃ powder on cylindric surfaces*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological Engineering, IMT Oradea 2009, CNCSIS "Clasa B+"
- [8] Ciofu Florin - *Experimental research into increasing materials properties by means depositions. 1.Plane surfaces*, Scientific Conference 13th edition, November 13-14, 2009, Tg-Jiu, ISSN 1842-4856, pag.91-100
- [9] Ciofu Florin - *Experimental research into increasing materials properties by means depositions. 2.Cylindric surfaces -*, - Scientific Conference 13th edition, November 13-14, 2009, Tg-Jiu, ISSN 1842-4856, pag.101-106.
- [10] Isarie C., Nemeș T., Ciofu Florin, Popescu F., - *Properties and characteristics of parts obtained by laser sintering of titanium powder mixtures.*, 11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 5-9 September, 2007.
- [11] Liu Z., Kovacevic R., *Temperature Control Based on 3-D Thermal Finite Element Modeling of Laser Direct Metal Deposition*, Solid Freeform Fabrication Symposium, August 2-4, Austin-Texas, SUA 2004;
- [12] Ragulya A. V, - *"Selective laser sintering of multilayer oxide ceramics," Functional Mat.*, 8, No. 1, 162-166 (2001).
- [13] Tolochko N. K., S. E. Mozzharov, N. V. Sobolenko, et al., - *"Laser selective layer-by-layer sintering of powders: problems and perspectives," Poroshk. Metall.*, Nos. 3-4, 32-27 (1995).
- [14] Tolochko N. K., I. A. Yadroitsev, A. F. Il'yushchenko, et al., *"Principle possibilities of preparing articles for micromechanics by laser sintering of metal micro- and nanopowders,"* in: *Nanostructural Materials: Preparation and Properties* [in
- Engineering,IMT Oradea 2009,CNCSIS"Clasa B+"
- [7] Ciofu Florin - *Experimental studies on the laser deposits with Al₂O₃ powder on cylindric surfaces*, Annals of the University of Oradea, Fascicle of Management and Technological Engineering, IMT Oradea 2009, CNCSIS "Cl. B+"
- [8] Ciofu Florin - *Experimental research into increasing materials properties by means depositions. 1.Plane surfaces*, Scientific Conference 13th edition, November 13-14, 2009, Tg-Jiu, ISSN 1842-4856, pag.91-100
- [9] Ciofu Florin - *Experimental research into increasing materials properties by means depositions. 2.Cylindric surfaces -*, - Scientific Conference 13th edition, November 13-14, 2009, Tg-Jiu, ISSN 1842-4856, pag.101-106.
- [10] Isarie C., Nemeș T., Ciofu Florin, Popescu F., - *Properties and characteristics of parts obtained by laser sintering of titanium powder mixtures.*, 11th International Research/Expert Conference "Trends in the Development of Machinery and Associated Technology" TMT 2007, Hammamet, Tunisia, 5-9 September, 2007.
- [11] Liu Z., Kovacevic R., *Temperature Control Based on 3-D Thermal Finite Element Modeling of Laser Direct Metal Deposition*, Solid Freeform Fabrication Symposium, August 2-4, Austin-Texas, SUA 2004;
- [12] Ragulya A. V, - *"Selective laser sintering of multilayer oxide ceramics," Functional Mat.*, 8, No. 1, 162-166 (2001).
- [13] Tolochko N. K., S. E. Mozzharov, N. V. Sobolenko, et al., - *"Laser selective layer-by-layer sintering of powders: problems and perspectives," Poroshk. Metall.*, Nos. 3-4, 32-27 (1995).
- [14] Tolochko N. K., I. A. Yadroitsev, A. F. Il'yushchenko, et al., *"Principle possibilities of preparing articles for micromechanics by laser sintering of metal micro- and nanopowders,"* in: *Nanostructural Materials: Preparation and Properties* [in

- Materials: Preparation and Properties* [in Russian], Minsk (2000).
- [15] Tolochko N. K. , Tu. A. Sheinok, T. Laoui, et al., “Laser processing of fine powders using powder microfeeding and micro-shaping techniques,” *Proc. EUROMAT 2001 Conf.* (10-14 June, 2001, Rimini, Italy), Rimini (2001).
- [15] Tolochko N. K. , Tu. A. Sheinok, T. Laoui, et al., “Laser processing of fine powders using powder microfeeding and micro-shaping techniques,” *Proc. EUROMAT 2001 Conf.* (10-14 June, 2001, Rimini, Italy), Rimini (2001).