

CONTROLUL DEPURĂRII PULBERII CU AJUTORUL FASCICULULUI LASER

**Claudiu Isarie, Rodica Ciudin,
Corina Bokor, Sorin Itu,
Sorin Tarnoveanu**

*Universitatea Lucian Blaga, Facultatea
de Inginerie, Bv. Victoriei Nr. 10,
550024 Sibiu, Romania*

ABSTRACT: Prin intermediul fascicului de electroni și fascicului laser, am putea obține o încălzire locală rapidă a materialului de bază și în același timp a pulberii care poate acoperi o suprafață determinată. Zona afectată termic (HAZ) are o structură caracterizată de granule având dimensiuni relativ mici în comparație cu cele rezultate utilizând tehnologia de depunere prin sudare cu arc electric. De asemenea, HAZ este mult mai îngustă comparativ cu alte procese de depunere. Oțelurilor obișnuite de uz general acoperite cu pulbere de titan sau wolfram li se asigură astfel o mai lungă utilizare. În acest fel am putea optimiza producția, performanțele și costurile. Depunerea materialelor cu ajutorul fascicului laser în impulsuri îmbunătățește calitatea stratului depus, prin reducerea porozității. Autorii au studiat parametri laser pentru pulberi diferite pentru a obține un randament maxim.

1. INTRODUCERE

Ultimele informații arată că globalizarea urmărește scurtarea ciclului de viață al produsului iar varietatea de produse este în creștere, ceea ce duce la o aprovizionarea continuă cu piese de schimb. În producția de serie mică există tendința folosirii unor tehnologii de fabricare tradiționale, la costuri mari ale investițiilor. Metodele de producție care se bazează pe economie nu mai sunt în măsură să răspundă acestor provocări. Deci, premisele pentru fabricarea de succes din ziua de azi sunt, așadar, utilizarea de materiale performante creând totodată economii de

THE CONTROL OF MELTED POWDER DEPOSITION BY LASER BEAM

**Claudiu Isarie Ass.Prof.Dr.Eng.,
Rodica Ciudin Ass.Lect.Dr.Eng.,
Corina Bokor Drs.Eng., Sorin Itu
Drs.Eng., Sorin Tarnoveanu
Drs.Eng.**

*Lucian Blaga University, Sibiu,
Faculty of Engineering, 10. Victoriei
Blv., 550024 Sibiu, Romania*

ABSTRACT: By means of electron and laser beam we could obtain a rapid local heating of the base material and in the same time of the powder which may coat a determined surface. The heat affected zone (HAZ), have relatively small grain size compared to those in arc welds. Also, the HAZ is much narrower comparatively with other deposition processes. Coating ordinary steels with wolfram or Titanium powder ensures a longer life of utilization for the considered pieces. In this way we could optimize the production, performance and costs. Beam pulsing improves weld quality, by reducing porosity. Authors have studied the laser parameters for different powder materials, to reach the maximum output of the process. Coating ordinary steels with wolfram or Titanium powder ensures a longer life of utilization for the considered pieces. In this way we could optimize the production, performance and costs. Beam pulsing improves deposited layer quality, by reducing porosity.

1. INTRODUCTION

Last information are showing that the global markets have to shortening product life cycles and product variety on the rise which makes spare part supply increasing difficult us well. Small lot sizes tend to make the use of traditional manufacturing technologies to cost intensive investment. Manufacturing methods that are based on economies of scale are no longer in a position to meet these challenges. So, the prerequisites for efficient manufacturing today are thus high-performer material yet creating cost savings. It is known that the e-manufacturing solutions enable also high performing and

costuri.

Este cunoscut faptul că soluțiile de e-manufacturing permit de asemenea obținerea de produse aerospațiale de înaltă performanță și de mici greutate. Desigur, aceasta oferă o oportunitate mai mare procesului de depunere multi-strat cu ajutorul fasciculului laser. Industria aerospațială operează într-o piață extrem de competitivă, care este caracterizată printr-un număr tot mai mare de piese personalizate și produse mai complexe. Asemenea probleme nu pot fi realizate prin producția de serie normală caracterizată de un număr mare de produse identice. Industria este astfel obligată să deschidă calea unor noi procedee de producție.

Produsele sinterizate cu ajutorul laserului pot satisface astfel de cerințe. La densități mari are loc încălzirea, topirea, ablatizarea și vaporizarea aproape a tuturor materialelor cunoscute. De exemplu, metalele pot fi încălzite, sudate, călite, găurite precum și tăiate.

2. DEPUNEREA DE PULBERI CU AJUTORUL FASCICULULUI LASER

Procedeele de depunere a pulberilor folosind fasciculul laser

Dezvoltarea pe viitor a industriei de mașini și, de asemenea, dezvoltarea industriei aerospațiale vor fi determinate de capacitățile oferite de noile materiale care sunt folosite în construcția de avioane și aeronave, la obținerea de componente și piese pentru acestea sau pentru industria de mașini unelte. Dintre cele mai dorite proprietăți sau factori, cum ar fi robustețea materialului, o prelucrare și reparare ușoară, ne conduc la obținerea de produse mai bune. Vorbind despre avioane, trebuie să căutăm soluții prin care aeronavele să nu devină mai grele. Acest lucru permite importante economii de combustibil. Astfel poate fi mărită încărcătura aeronavelor precum și distanța de croazieră. Sinterizarea cu laser ar putea fi denumită: "tehnologia cheie pentru e-manufacturing" și permite trecerea de la proceduri mai statice

light weight aerospace products. Of course this gives a higher opportunity to the process of multi-layer melted powder deposition by laser beam. The aerospace industries are operating in a highly competitive market that is characterized by an increasing number customized and more complex parts and products. Such problems can not be handled with normal serial production characterized by a high number of identical products. The industry is obliged to break new grounds in part production.

Laser sintered products can meet such requirements. CO₂ laser beam, a very intense energy beam, when concentrated using focussing lens result in high power densities matched only by electron beam sources. At high densities, heating, melting, ablation and vaporization of almost all known materials occurs. For instance, metals could be heated, welded, hardened, drilled as well as cut.

2. POWDER DEPOSITION BY LASER BEAM

Process of powder deposition by laser beam

The future development of the machine tool development and also the aerospace industry development will be determinate by the capabilities new materials can offer which are used to build airplanes and aerospace frames or components and parts for them or for machine tool industry.

Among the most desired properties or factors such as material robustness, easy processing and repair which lead us to better products. Speaking about aircraft, we must look to solutions which do not charge the weight of aircraft. This enables important fuel savings. So, the aircraft cargo can be increased as well as its cruising range.

Laser sintering could be named: “ the key technology for the e-manufacturing”, and enables move from tool bound, more static procedures towards fast, more flexible and

spre proceduri mai rapide, mai flexibile și costuri de producție de serie eficiente, direct de la datele electronice. Acesta este un proces în care părțile identice ca și construcție sunt produse în cantități mici. Sinterizarea cu laser devine tot mai mult o alternativă interesantă pentru fabricarea rapidă. Sinterizarea cu laser este un proces aditiv de fabricație. Fără nici o prelucrare sau operații de frezare complexe și consumatoare de timp, pot fi construite piese cu geometrii tri-dimensionale.

În producție, modelul 3D CAD creat anterior, este descompus în straturi de 20-40 μ m. Tehnologia de sinterizare cu laser produce geometria dorită strat după strat. În acest proces, energia laserului solidifică materialul sub formă de pulbere: plastic, metal sau nisip de turnătorie, în piese proiectate anterior în 3D. Procesul de sinterizare cu laser are de asemenea un alt avantaj imens, astfel că odată ce datele de producție sunt create, piesele pot fi construite pe baza datelor electronice, în orice formă, în orice moment și oriunde. Un model teoretic de generare cu laser, descrie materialul sub formă de pulbere și fenomenele dominante ale interacțiunii laser - material. Simularea matematico-fizică este validată prin măsurători experimentale. Parametri procesului determină calitatea piesei [1]. Generarea cu laser a amestecurilor de pulbere, combină tehnologia laser și tehnologia pulberilor, pentru a produce obiecte complexe 3D pentru realizarea de prototipuri sau scule. Această tehnologie permite producerea de piese libere, solide, direct dintr-o bază de date CAD (figura 1). Într-un proces aditiv piesa este construită în straturi subțiri.

Aceste tehnici concurează în situații de producție scăzută cum ar fi producția de prototipuri, vizualizare de modele sau piese la comandă. Generarea cu laser creează obiecte strat cu strat, fasciculul laser [2] unind particulele de pulbere. În acest fel este posibilă construirea de piese cu forme geometrice complexe, cum ar fi suprafețe libere sau canale integrate. Un prim-model computerizat al piesei este feliat în straturi subțiri, transformând datele 3D într-o serie de secțiuni transversale 2D.

cost effective serial production directly from electronic data. This is a process in which the parts identical in construction are produced in small quantities.

Laser sintering becomes more and more, an interesting alternative for rapid manufacturing. Laser sintering is an additive laser manufacturing process. Without any tooling or time consuming milling very complex, three-dimensional geometries can be constructed.

In production the previously created 3D CAD model is being decomposed into 20-40 μ m layers. The laser sintering technology produces the desired geometry layer by layer. In this process the laser energy solidifies the powdered material: plastic, metal, or foundry sand, into parts previously designed in 3D. The laser sintering process has also other huge advantage, that once the production data are created, parts can be build based on the electronic data in any shape at any time and anywhere.

A theoretical model of laser generating describes powder material and dominant phenomena of laser - material interaction. The mathematical physical simulation is validated by experimental measurements. The process parameters determine the part quality [1].

Laser generating of powder mixtures, combines laser technology and powder technology, to produce complex 3D-objects for prototyping, tooling or manufacturing. This technique allows producing freeform solid parts directly from a CAD database (figure 1). In an additive process the part is built up in thin layers.

These techniques compete in low production number situations such as production of prototypes, visualization models or parts on demand.

Laser generating creates objects layer by layer with an exposure of laser beam [2] joining powder particles. In this way it is possible, to build parts with complex geometrical shapes such as freeform surfaces or integrated channels and undercuts.

A first computer model of the part is sliced in

Procesul de generare cu laser poate fi împărțită în două etape: în prima etapă pulbera este depusă după care în faza a doua fasciculul laser scanează suprafața pulberii. Fasciculul laser este controlat de sistem și topește parțial particulele de pulbere. În afara zonei de acțiune a laserului, pulbera rămâne liberă și poate fi reciclată după proces. Următorul strat de pulbere este depus și scanat după modelul CAD până când întreaga piesă este produsă. Placarea cu laser este o unitate coaxială (figura 2), care utilizează conuri atât interioare cât și exterioare din cupru pentru a produce un flux uniform de pulbere. Un avantaj îl constituie faptul că norul de praf emis de duză este destul de lung și uniform în direcția verticală. Acest lucru permite depunerea eficientă de material de la distanțe diferite.

thin layers transforming the 3D-data into a series of 2D cross sections. The laser generating process can be divided in two steps: first, the powder is deposited on the part, and next a laser beam scans the powder surface.

The laser beam is controlled by the system like drawing the 2D-slices with the laser on the powder bed and partially melts the powder particle. Outside this area, the powder remains loose and can be recycled after the process. Next powder layer is deposited and scanned controlled by the CAD-model until the entire part is produced. The laser cladding attachment is a coaxial unit (figure 2) which uses both inner and outer copper cones to produce a uniform flow of powder to the molten pool. One advantage of this arrangement is that the powder cloud emitted by the nozzle is fairly long and uniform in the vertical direction. This allows the deposition of material efficiently at different stand-off distances, resulting in a more robust process.



Fig.1 Depunere cu laser pe o unealtă de tăiere
Fig.1 Laser deposition on a cutting tool

Tehnologia de depunere multi-strat
În aproape toate procedeele care utilizează fasciculul laser, controlul precis al puterii laserului sau nivelului de energie, este de o importanță capitală pentru obținerea de rezultate de înaltă calitate, caracteristice prelucrării utilizând laserul cu CO₂. În

Multy layer deposition technology

In almost all laser processes, precise control of the laser power or energy level is usually of the utmost importance to achieve the high quality result characteristic of CO₂ laser machining. Consequently, output power and mode stability and predictable and repeatable

consecință, puterea de ieșire, stabilitatea și impulsurile previzibile și repetabile de energie sunt esențiale. Laserele cu CO₂ sunt în mod normal concepute pentru a permite stabilirea unor nivele ale puterii de ieșire și de asemenea cu posibilitatea de a comuta laserul pornit/oprit la frecvențe de modulare mari. Această comutare electronică este de obicei în răspuns la semnalele de la unitățile de programare, generatoarele de semnal, scanerele optice etc. La prelucrarea materialelor nemetalice, de multe ori este necesar de a echilibra valorile corecte ale vârfurilor de putere în raport cu cele ale impulsului în timp, pentru a evita degradarea termică a materialelor.

Prin această tehnologie se produc piese pentru fiecare fază din ciclul de viață al produsului, de la pre-dezvoltare și prototipuri până la fabricarea rapidă sau furnizarea de piese de schimb. Ca atare, sinterizarea cu laser accelerează dezvoltarea de produse și revoluționează proiectarea, urmând reguli de proiectare în mișcare, de la "proiectarea condusă de fabricare" abordând "fabricarea condusă de proiectare".

Ca atare, sinterizarea cu laser eliberează proiectarea și construcția de restricțiile procesului de producție, nemai având nevoie să limiteze creativitatea la metodele convenționale din procesul de fabricație. Concentrându-se pe produsul final, designerul schițează geometrii tri-dimensionale individuale și poate crea ceea ce este în mintea clientului său: un produs final cu valoare mare pentru client.

Caracteristicile interacțiunii laser-material ar trebui să fie analizate prin modelarea fenomenelor fizice care apar în timpul procesului. Simularea poate anticipa comportamentul atât calitativ cât și cantitativ al sistemului (figura 2). A fost creată și dezvoltată o nouă tehnologie în scopul de a realiza fabricarea rapidă și repararea prin depunerea tri-dimensională de pulbere cu ajutorul laserului. Sistemul de fabricare bazat pe depunerea cu laser (LBAM), a făcut posibilă depunerea cu precizie de pulberi din materiale metalice, ceramice, materiale

pulses of energy are essential. CO₂ lasers are normally designed to allow the setting of output power levels and also the ability to switch the laser on/off at high modulation frequencies. This electronic switch is usually in response to signals from programming units, signal generators, optical scanners etc. When processing non-metallic materials, it is often necessary to balance the correct values of peak power vs. pulse on time, to avoid thermal degradation of the materials.

The technology manufactures parts for every face phase of the product life cycle-from pre-development and prototyping up to rapid manufacturing or the supply of spare parts. As such, laser sintering accelerates product development and revolutionizes design following moving design rules from a "manufacturing-driven design" to a "design-driven manufacturing" approach.

As such, laser-sintering frees design and construction from the restrictions of the production process no longer having to subject creativity to the limitation of conventional methods of manufacturing. It can enable both product development and manufacturing to shift their paradigms-moving away from tool based static methods in favor of generative and flexible method: e-manufacturing with laser sintering.

Focusing on the final product, the designer sketches individual three-dimensional geometries and can create what is on his customer mind: an end product with high customer value.

The characteristics of a laser material interaction should be analyzed by modelling the physical phenomena occurring during the process. The simulation can predict the system behavior qualitatively and quantitatively (figure 2). A new technology was created and developed in order realize rapid manufacturing and repair by three-dimensional laser powder deposition. The Laser-Based Additive Manufacturing system (LBAM) has made it possible to precisely deposit metal, ceramic, and composite powder materials, creating fine geometric features and excellent material properties.

compozite, crearea unor trăsături geometrice fine și proprietăți excelente ale materialelor.

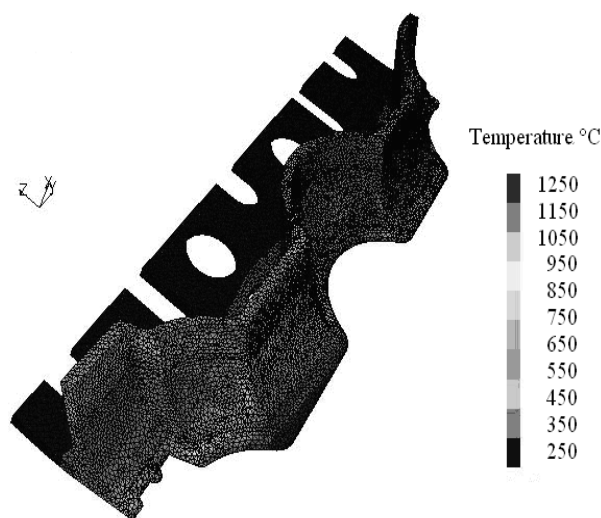


Fig.2 Anticiparea temperaturii într-un proces de depunere cu laser pe marginea de taiere
Fig.2 Temperature prediction in a laser deposition process on the cutting edge

Deși avantajele procedurii de depunere cu laser a pulberilor sunt unanim recunoscute s-a concluzionat că produsele finale prezintă de multe ori microstructuri și proprietăți neuniforme iar acest lucru poate restrânge acceptarea largă a acestui procedeu în industrie.

Microstructura și proprietățile materialelor topite cu laser depind de mecanismul de solidificare, care la rândul său depinde de parametri locali de solidificare și de transformările în stare solidă care au loc în timpul răcirii la temperatura camerei. În acest proces trebuie să fie luate în considerare transformările induse de ciclurile termice consecutive generate de fiecare strat nou de material care se adaugă piesei. Prin urmare, în scopul de a obține microstructura și proprietățile finale necesare, este important să se stabilească parametri corecți de prelucrare și strategia de construcție a piesei și de a identifica transformările de fază care pot să apară în fiecare strat de material depus. Pot fi realizate structuri prin depunere, precise și reproductibile, doar acordând atenție mișcărilor mecanice implicate în acest procedeu și prin controlul strict al celorlalți parametri care afectează calitatea straturilor depuse. Uniformitatea unei structuri obținute

Although the advantages of the laser powder deposition process are widely recognized, it was concluded that final products often present non-uniform microstructure and properties and this may restrain the wide acceptance of this process in industry.

The microstructure and properties of laser melted materials depend on the solidification mechanism, which depends itself on the local solidification parameters and, on the solid-state transformations that occur during cooling to room temperature. In this process the transformations induced by the consecutive thermal cycles generated each time a new layer of material is added to the part must be considered. Therefore, in order to obtain the final microstructure and properties distribution needed it is important to establish the correct processing parameters and part build-up strategy and to identify the phase transformations that may occur in each layer of deposited material.

Accurate and reproducible deposited structures, can only be achieved by careful attention to the mechanical movements involved and by the close control of the other parameters affecting deposited layers quality. The uniformity of a laser deposited structure can be adversely affected by the powder

prin depunere cu laser poate fi afectată în mod negativ de materialul pulberii. În consecință este esențial controlul atent al compoziției materialului pulberii, dacă trebuie obținute structuri de înaltă calitate. În procesul de sinterizare cu laser am putea folosi materiale ca: polimeri de înaltă performanță, poliamidă de încetinire a flăcării, oțeluri cu rezistență la coroziune, aliaje de crom, nichel rezistente la temperaturi ridicate precum și aliaje de aluminiu și titan. Dintre metale, materialul cel mai important care poate fi sinterizat cu laser este pulberea fină de titan, caracterizată ca având proprietăți mecanice excelente și rezistență la coroziune combinate cu greutate specifică redusă și biocompatibilitate. Prin procesul de sinterizare cu laser pot fi produse piese care necesită o combinație de proprietăți mecanice ridicate și greutate specifică redusă, realizate structuri și componente de motoare pentru industria aerospațială și curse auto. De asemenea, în același fel ar putea fi realizate părți într-un superaliaj pe bază de cobalt, crom sau molibden. Această clasă de superaliaje oferă proprietăți mecanice excelente ca: rezistență, duritate, rezistență la coroziune și la temperaturi. Foarte important este faptul că aceste piese sinterizate cu laser pot fi sudate, prelucrate, lustruite și dacă este necesar, acoperite.

Un alt aliaj important ar putea fi duraluminiul care prezintă o înaltă rezistență și duritate. Acest aliaj are bune proprietăți dinamice, fiind utilizat din această cauză pentru piese supuse la sarcini mari.

Ca și aplicații tipice pot fi menționate: fabricarea directă de prototipuri, anumite produse sau piese de schimb precum și piese care necesită combinarea de bune proprietăți termice cu greutate scăzută, potrivite pentru aplicații aerospațiale. De asemenea, sunt importante aliajele pe bază de nichel. Un astfel de aliaj pe bază de crom și nichel, este caracterizat printr-ună rezistență la tracțiune, oboseală și rupere la temperaturi de până la 700 ° C. Astfel de materiale au proprietăți criogenice excelente și un potențial ridicat pentru aplicații criogenice. Am putea

material. Consequently, careful control in the powder material composition is essential if high quality laser deposited structures are to be produced.

In the process of laser sintering we could use materials as: high performance polymers flame retardant polyamide, corrosion resistance steels, high temperature chrome, nickel, alloys, as well as aluminum alloys and titanium.

Among metals the most important material which can be laser sintered is fine powder titanium characterized by having excellent mechanical properties and corrosion resistance combine with low specific weight and biocompatibility. the extra low interstitial version has particularly low level of impurities. which the laser sintered process may be produced parts requiring a combination of high mechanical properties and low specific weight and realized structural and engine components for aerospace and motor racing application. In the same way, could realize also parts in a cobalt, chrome, molybdenum- based super alloy. This class of super alloys offers excellent mechanical properties as: strength, hardness, corrosion and temperature resistance. Very important is that such laser sintered parts can be welded, machined, micro shot-penned, polished and also coated if required.

Another important alloy could be the silicon magnesium which presents a high strength and hardness. This alloy has good dynamic properties and is there for used for parts subjected to high loads.

As typical applications could be mentioned: direct manufacturing of prototypes, small production runs, user specific products or spare parts, as well as parts that required the combination of good thermal properties with low weight, suitable for aerospace applications. Also important are the nickel based alloy. Such a precipitation hardening nickel chromium alloy is characterized by having a good tensile, fatigue and creep and rupture strengths at temperatures up to 700°C. Such material had excellent cryogenic

menționa: motoare pentru turbine, componente pentru rachete și aplicații spațiale, industria chimică, petrolieră și gaze naturale.

3. CONCLUZII

Ca și aplicații în general în industria aerospațială a pieselor sinterizate cu laser, am putea menționa motoare de testare și piese pentru turbine, părți componente ale interioarelor de cabine, deviatori ale fluxului de aer, capace pentru tubulatura de evacuare precum și scule pentru fabricarea materialelor compozite. Piese sinterizate cu laser au fost aplicate în sistemele de încălzire, în accesoriile aparatelor de aer condiționat și în multe alte sisteme.

Piese sinterizate cu laser pot dota orice, de la avioane mici până la cele ale companiilor aeriene. La fel de bine aceste piese pot să îndeplinească cerințele pieței, în creștere rapidă, pentru vehiculele aeriene fără pilot. Acestea permit structuri mici, piese extrem de integrate, care trebuie să corespundă unei mari varietăți de cerințe și schimbări ale aplicațiilor. Am putea presupune că în următorii ani, noi materiale care pot fi sinterizate cu laser vor juca un rol critic în modul în care alte domenii de aplicare vor putea fi dezvoltate pentru industria aerospațială și de asemenea pentru alte industrii.

Este de așteptat ca materialele cu temperaturi ridicate de topire, ideale pentru utilizarea în construcția de motoare, vor juca un rol important. O continuă dezvoltare pe viitor a sistemului tehnologic de sinterizare cu laser în conexiune cu noi materiale, va sprijini în continuare răspândirea sinterizării cu laser ca un proces de producție pentru aplicații medicale și altele.

properties and a high potential for cryogenic applications. We could mention: turbine engines, rocket and space application components, chemical and process industry, oil, petroleum and natural gas industry parts.

3. CONCLUSIONS

As aerospace applications for laser sintered parts in general, we could mention test-engine and turbine parts, as well as components for cabin interiors, airflow diverters, and exhaust ducting electrical shrouds fairing as well as tooling for composite fabrication. Laser sintered parts were implemented in heating systems, air conditioning accessories, and many other systems.

Laser sintered parts can equip everything from small business jet up to airlines. These parts, do as well particularly meet the requirements of the quickly growing market for unmanned aerial vehicles. They enable small structures, highly integrated parts as well as changing airliner applications which need to meet a variety of different requirements with changing equipments. In addition to this and as the durability of aerospace parts is shrinking do to the high pressure they have to withstand spare part production can be eased based on available electronic data and respective cost can be reduced.

We could suppose that in the coming years new materials that can be laser sintered will play a critical role in how further application areas can be developed for aerospace industry and also for other industries.

It is expected that materials with high melting temperature ideally suited for the use in engine construction will pay an important role. A further continuing development of the laser sintering system technology in connection with new materials will further support to spread of laser sintering as a production process into other applications as medical and others.

BIBLIOGRAFIE

1. Isarie, C., Oprean, C. s.a. *Modelling of energy transfer from the photon beam at an optical media* Photonics West 24-29 January 2004, San Jose California USA.
2. Petrescu, V., Isarie, C., *Developing Computer-based Tutorials for an Introductory Course on the Materials Technology*, Proceedings of the International Conference on Manufacturing Science and Education, Sibiu, Nov. 2003, ISBN 973-651-700-4, pag. 275-278.
3. Bokor, C., Itu, S., Isarie, C., Ciudin, R., *About the possibility of optimization and/or replacing a thermal treatment, by using a concentrated energy source during machining*, Proceedings of the 3rd International Symposium Research and Education in Innovation Era, Series: Mech. Eng., 11-12 November 2010, Arad, ISSN 2065-2569, pag. 113.
4. Claudiu I. Isarie, Constantin Oprean, Ion Marginean, Toderita Nemes, Ilie V. Isarie, Corina Bokor, Sorin Itu, *About the phenomenon produced by the successive jumps of the peripheric electrons, at the absorption of the intense photon beam by the metal*, Laser Resonators and Beam Control XIII Conference, Proceedings of SPIE 7913, Paper Number: 7913-49, 22-27.01.2011, San Francisco California USA.

MULȚUMIRI

Cercetări realizate în cadrul proiectului POSDRU/6/1.5/S/26/7706 cofinanțat din Fondul Social European prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane 2007-2013”.

BIBLIOGRAPHY

1. Isarie, C., Oprean, C. s.a. *Modelling of energy transfer from the photon beam at an optical media* Photonics West 24-29 January 2004, San Jose California USA.
2. Petrescu, V., Isarie, C., *Developing Computer-based Tutorials for an Introductory Course on the Materials Technology*, Proceedings of the International Conference on Manufacturing Science and Education, Sibiu, Nov. 2003, ISBN 973-651-700-4, pag. 275-278.
3. Bokor, C., Itu, S., Isarie, C., Ciudin, R., *About the possibility of optimization and/or replacing a thermal treatment, by using a concentrated energy source during machining*, Proceedings of the 3rd International Symposium Research and Education in Innovation Era, Series: Mech. Eng., 11-12 November 2010, Arad, ISSN 2065-2569, pag. 113.
4. Claudiu I. Isarie, Constantin Oprean, Ion Marginean, Toderita Nemes, Ilie V. Isarie, Corina Bokor, Sorin Itu, *About the phenomenon produced by the successive jumps of the peripheric electrons, at the absorption of the intense photon beam by the metal*, Laser Resonators and Beam Control XIII Conference, Proceedings of SPIE 7913, Paper Number: 7913-49, 22-27.01.2011, San Francisco California USA.

ACKNOWLEDGEMENTS

Research conducted under project POSDRU 7706 Increasing the role of doctoral studies and doctoral competitiveness in a united Europe co-financed by European Social Fund through Sectoral Operational Programme Human Resources Development 2007 – 2013.