



HABILITATION THESIS

- ABSTRACT -

Fundamental Field: Engineering Sciences

Specialisation: Industrial Engineering

Title:

**Additive Laser Manufacturing technologies, new innovative materials and thin films
applied in the medical and industrial field**

Associate Prof.Dr.Eng. Diana-Irinel BĂILĂ

Bucharest, 2024

The habilitation thesis entitled “Additive Laser Manufacturing technologies, new innovative materials and thin films applied in the medical and industrial field” is structured in six chapters that include the main achievements and scientific, professional and academic contributions of the author after finalizing the doctoral studies, along with the professional career development and future directions of research which are taken into consideration by the author.

The first chapter of the habilitation thesis, entitled "Scientific, professional and academic results" contains the main achievements that were most obtained by the author, grace of the important institutional and research projects, where participated as a coordinator or key member of the research team.

The practical and innovative results were disseminated in the list of relevant scientific works that were published as a result of the research developed and obtained in Additive Manufacturing and in the new materials development domain, within this chapter can be found also highlighted the main results that were obtained with immediate use in both, medical and industrial domain.

The second chapter of the habilitation thesis, entitled "Representative research on the new materials and coatings development applied in the medical domain using Additive Manufacturing technologies" shows in detail the most representative researches that were developed by the author in cooperation with various prestigious partners that are coming from the materials field.

Thus, in this chapter, there are presented a series of researches that were carried out in absolute premiere in Romania regarding the designing, manufacturing, FEA simulations and testing of medical models and different new materials and thin films coatings (research that was carried out in cooperation with Institute of Physical Chemistry “Ilie Murgulescu” of the Romanian Academy, National Institute of Research and Development for Optoelectronics - INOE 2000, and other researchers from Politehnica Bucharest), the designing and mechanical test of medical models printed by DMLS Direct Metal Laser Sintering (in cooperation with ADMLaser Dent company), as well as a series of researches that were carried out regarding the coatings by sol-gel method and by Physical Vapour Deposition with applicability in the medical field, respectively realization in vitro test for bioactivity/degradation in Simulated Biological Fluid - SBF (with researchers from Faculty of Chemical Engineering and Biotechnologies).

Chapter three of the habilitation thesis, entitled "Representative researches on Co-Cr superalloy and Ti6Al4V with applicability in the medical domain using Additive Laser Manufacturing technologies" presents a series of innovative researches that were realized by the author within the Research Centers from National University of Science and Technology Politehnica Bucharest. For the design and the FEA simulation of the medical models (stents struts and dental elevators) were used different CAD/CAM/CAE software as: SolidWorks, Onshape, Catia. Mechanical tests are carried out on these two bimetallic materials with help of the researchers from National University of Science and Technology Politehnica Bucharest and National Institute of Research and Development for Optoelectronics - INOE 2000. The additive manufacturing technologies used for medical products were Direct Metal Laser Sintering (DMLS) and Selective Laser Melting (SLM).

The experimental results presented in this chapter have highlighted the usefulness of new materials development, the innovative additive manufacturing methods in dentistry, surgery and medical instruments, but also on how these methods can permit to realize personalized dental crown by additive laser manufacturing technologies. In this chapter is presented the particularities of the powders granulometry, technological parameters and mechanical tests obtained for these biomaterials.

Chapter four of the habilitation thesis, entitled "Representative researches on the additive manufacturing technologies and new materials applied in specific solutions for industrial domain (3d hybrid printer, robot gripper, powder lozenge mold)" presents in the same model of topics as in the previous chapters, highlighting in addition to what has already been presented, the necessity to improve and develop the new types of materials and the additive manufacturing processes for industrial products.

In this chapter were highlighted some of high advanced researches concerning the materials morphology, chemical composition realizing SEM, EDAX, FTIR and mapping analysis and the mechanical tests on the new materials such as PEKK used in FDM (Fused Deposition Modeling). In this chapter are presented too, the design and manufacturing of parts, respectively the assembly processes necessary to obtain the industrial parts with high accuracy. The 3D hybrid printer and the powder lozenge mold were realized in collaboration with the students that were coordinated for license projects. The 3D hybrid printer (DIY) combine FDM (Fused Deposition Modeling) and CNC manufacturing, being a cheaper 3D printer.

The innovative research concerning the robot gripper was design and manufactured into the EMERALD project consortium (EEA & Norway grants 2022-2023).

In the chapter five of the habilitation thesis having the title "New directions concerning the development of future career" is explained the main experimental research directions concerning the new materials such as 625 INCONEL, 718 INCONEL and Ti6Al4V and Selective Laser Melting SLM technology, using different lattices models for aeronautical parts (research realized with COMOTI institute, Bucharest). It will be realized correlation between the different manufacturing systems and their technical parameters used in SLM and DMLS processes and the materials morphology obtained. The scientific papers published in ISI journals (Q1 and Q2 ranking) with different research centers and foreigner universities increase the visibility of the experimental researches that were developed in the Faculty of Industrial Engineering and Robotics, permitting to gain and to participate in different new national and international calls grants. The research results obtained in collaboration with renowned foreigner universities and Romanian institutes and research centers published in ISI journals were awarded within the UEFISCDI Romanian Research Ministry (5 ISI articles). These advanced researches can be continued with Electron Beam Melting (EBM) and Direct Metal Deposition (DMD) technologies that use metallic powders. In main researches were involved young researchers, students from Politehnica Bucharest, that I will sustain and support them for developing their career, and realizing new impressive researches concerning the innovative medical and industrial products.

The six chapter of the habilitation thesis having the title "Habilitation Thesis Conclusions" resumes the main researches that are described in the thesis, and the future directions concerning the researches continuing. Innovative products, new types of materials using last manufacturing systems generation will be developed within the EMERALD project (financed by Norwegian funds) and the AMAZE project (Financed by Erasmus+), the author of the habilitation thesis being responsible, respectively coordinator. The objectives of these projects were to develop new types of biomechatronics /biomimetics systems realized by Additive Manufacturing for support people with special needs (with amputated arms), in case of EMERALD project (<https://project-emerald.eu/>). The improvement of mechanical properties and the roughness of these sintered parts by thin films was an important scope of these researches. Other scope was parts manufacturing by SLA (Stereolithography) using new nanoceramic photopolymer resins. The development of new materials manufactured by Additive Manufacturing used in the industrial design, for complex architectural parts is one of main objectives for AMAZE project (www.amaze2023.eu).

Teza de abilitare intitulată „Tehnologii de fabricație aditivă cu laser, materiale noi inovatoare și filme subțiri aplicate în domeniul medical și industrial” este structurată în șase capitole care cuprind principalele realizări și contribuții științifice, profesionale și academice ale autorului după finalizarea studiilor de doctorat, împreună cu dezvoltarea carierei profesionale și direcțiile viitoare de cercetare care sunt luate în considerare de autor.

Primul capitol al tezei de abilitare, intitulat „Rezultate științifice, profesionale și academice” cuprinde principalele realizări majore obținute de autor, datorită proiectelor instituționale și de cercetare importante, la care a participat în calitate de coordonator, responsabil sau membru cheie al echipei de cercetare.

Rezultatele practice și inovatoare au fost diseminate în lista lucrărilor științifice relevante care au fost publicate ca urmare a cercetărilor desfășurate și obținute în domeniul Fabricației Aditive și în domeniul dezvoltării de noi materiale, fiind evidențiate principalele rezultate care au fost obținute cu utilizare practică imediată, atât în domeniul medical cât și în diferite domenii industriale. **Al doilea capitol al tezei de abilitare, intitulat „Cercetări reprezentative privind dezvoltarea noilor materiale cu aplicații în domeniul medical fabricate prin tehnologii de fabricație aditivă și tipuri de acoperiri”** prezintă în detaliu cele mai reprezentative cercetări care au fost realizate de autor în colaborare cu diverși parteneri de prestigiu din domeniul materialelor. Astfel, în acest capitol, sunt prezentate o serie de cercetări care au fost efectuate în premieră absolută în România privind proiectarea, fabricația, simulările FEA și testarea modelelor medicale, a diferitelor materiale noi și acoperiri cu filme subțiri (cercetări care au fost efectuate în cooperare cu Institutul de Chimie Fizică „Ilie Murgulescu” din cadrul Academiei Române, Institutul Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Optoelectronică - INOE 2000 și alți cercetători de la Politehnica București). De asemenea s-a realizat proiectarea și testarea mecanică a modelelor medicale fabricate prin tehnologia Direct Metal Laser Sintering (DMLS), în cooperare cu diverse companii de tehnică dentară, precum și o serie de cercetări ce au constat în acoperiri prin metoda sol-gel și prin depunere fizică în vapori cu aplicabilitate în domeniul medical, respectiv realizarea testului in vitro de bioactivitate/degradare în Fluid Biologic Simulat - SBF (cu cercetători de la Facultatea de Inginerie Chimică și Biotehnologii din cadrul Politehnica București).

Capitolul trei al tezei de abilitare, intitulat „Cercetări reprezentative asupra superaliajului de Co-Cr și Ti6Al4V cu aplicabilitate în domeniul medical utilizând tehnologiile de fabricație aditivă cu laser” prezintă o serie de cercetări inovatoare care au fost realizate de autor în cadrul Centrelor de Cercetare din cadrul Universității Naționale din Știință și Tehnologie Politehnica București. Pentru proiectarea și simularea FEA a modelelor medicale (stent struts și elevatoare dentare) au fost utilizate diferite programe CAD/CAM/CAE precum: SolidWorks, Onshape, Catia. S-au elaborat diferite testări mecanice pentru cele două biomateriale metalice cu ajutorul cercetătorilor de la Universitatea Națională de Știință și Tehnologie Politehnica București și de la Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Optoelectronică - INOE 2000. Tehnologiile de fabricație aditivă utilizate pentru produsele medicale au fost sinterizarea directă cu laser a pulberilor metalice (DMLS) și topirea selectivă cu laser (SLM). Rezultatele experimentale prezentate în acest capitol au evidențiat utilitatea dezvoltării de noi materiale, a metodelor inovatoare de fabricație aditivă în stomatologie, chirurgie și pentru realizarea de instrumentar medical. S-a subliniat modul în care aceste metode pot permite realizarea de implanturi și coroane dentare personalizate prin tehnologii de fabricație aditivă cu laser. În acest capitol sunt prezentate particularitățile granulometriei pulberilor, parametrii tehnologici și testele mecanice obținute pentru aceste biomateriale.

Capitolul patru al tezei de abilitare, intitulat „Cercetări reprezentative privind tehnologiile de fabricație aditivă și noile materiale aplicate în soluții specifice domeniului

industrial (imprimantă hibridă 3d, robot gripper, matriță de pastilat pulberi)” prezintă în același mod etapele ca și în precedentul capitol, subliniind pe lângă ceea ce a fost deja prezentat, necesitatea îmbunătățirii și dezvoltării noilor tipuri de materiale și a proceselor de fabricație aditivă pentru produse industriale. În acest capitol au fost evidențiate câteva dintre cercetările avansate efectuate privind morfologia materialelor, compoziția chimică, realizându-se analize SEM, EDAX, FTIR și mapping și testele mecanice pentru noile materiale precum PEKK utilizate în FDM (Fused Deposition Modeling). În acest capitol sunt prezentate și proiectarea și fabricația pieselor cu precizie ridicată, respectiv procesele de asamblare necesare obținerii produselor industriale. Imprimanta hibridă 3D și matrița de pastilat pulberi au fost realizate în colaborare cu studenții care au fost coordonați pentru proiecte de licență. Imprimanta hibridă 3D (DIY) realizată împreună cu studenții combină tehnologia FDM și fabricarea CNC, construindu-se astfel o imprimantă 3D hibridă ieftină. Cercetările inovatoare privind dispozitivul de robot gripper a constat în proiectarea și fabricarea acestuia după un model realizat la Universitatea din Agder, Norvegia în cadrul consorțiului proiectului EMERALD (granturi EEA & Norway 2022-2023). **În capitolul cinci al tezei de abilitare cu titlul „Noi direcții privind dezvoltarea viitoarei cariere”** sunt explicate principalele direcții experimentale de cercetare privind noile materiale precum 625 INCONEL, 718 INCONEL și Ti6Al4V prelucrate prin tehnologia Selective Laser Melting (SLM), folosind diferite modele de lattices pentru piese aeronautice (cercetări realizate cu institutul COMOTI, București). Se va realiza corelarea între diferitele sisteme de fabricație SLM și DMLS și parametrii tehnici ai acestora și morfologia materialelor obținute. Lucrările științifice publicate în reviste ISI (clasificate Q1 și Q2) cu diferite centre de cercetare și universități din străinătate sporesc vizibilitatea rezultatelor cercetărilor experimentale care au fost desfășurate în cadrul Facultății de Inginerie Industrială și Robotică, permițând câștigarea și participarea la diferite noi apeluri de proiecte naționale și internaționale. Rezultatele cercetării obținute în colaborare cu universități din străinătate de renume, respectiv cu implicarea de institute și centre de cercetare românești publicate în reviste ISI au fost premiate în cadrul Ministerului Cercetării din România UEFISCDI (5 articole ISI). Aceste cercetări avansate pot fi continuate cu tehnologiile Electron Beam Melting (EBM) și Direct Metal Deposition (DMD) care utilizează de asemenea pulberi metalice. În principalele cercetări realizate de autor au fost implicați tineri cercetători, studenți de la Politehnica București, pe care îi susțin și îi voi susține pe întreaga perioadă de dezvoltare a carierei lor, prin realizarea de noi cercetări impresionante privind produsele medicale și industriale inovatoare. **Capitolul șase al tezei de abilitare cu titlul „Concluziile tezei de abilitare”** reia principalele cercetări care sunt descrise în teză, precum și direcțiile viitoare privind continuarea acestora. În cadrul proiectului de cercetare EMERALD (finanțat din fonduri norvegiene) și al proiectului de cooperare universitară AMAZE (finanțat de Erasmus+), vor fi dezvoltate produse inovatoare, noi tipuri de materiale folosind sisteme de producție de ultimă generație, autorul tezei de abilitare, fiind responsabil/coordonator al acestor proiecte. Obiectivele proiectului EMERALD (<https://project-emerald.eu/>) au fost dezvoltarea de noi tipuri de sisteme biomecatronice/biomimetice realizate prin Additive Manufacturing pentru sprijinirea persoanelor cu nevoi speciale (cu brate amputate). Îmbunătățirea proprietăților mecanice și a rugozității pieselor sinterizate prin acoperiri cu filme subțiri a fost un domeniu important al acestor cercetări. Un alt scop a constat în fabricarea de piese folosind tehnologia SLA (Stereolithography) utilizând noi rășini fotopolimerice nanoceramice. Dezvoltarea de noi materiale fabricate prin Additive Manufacturing utilizate în designul industrial, pentru piese arhitecturale complexe reprezintă unul dintre obiectivele principale ale proiectului AMAZE (www.amaze2023.eu).