

“RAPID PROTOTYPING” - TEHNOLOGIE AVANSATA IMPLEMENTATA IN INDUSTRIA DE MECATRONICA

Drd. Ing. Ciobota Nastase-Dan, Prof. Univ. Dr. Ing. Gh. Ion Gheorghe, CS I Alexandru Moldovanu
Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Mecatronica si Tehnica Masurarii, Bucuresti
Sos. Pantelimon 6-8, Sector 2, 021631, Bucuresti, ROMANIA

Rezumat In aceasta lucrare dorim sa prezinta un echipament tehnologic high-tech de ultima generatie pentru prototipare rapida. Acest echipament este la nivelul de dotare al marilor institute de cercetare din lume precum si al marilor producatori de reperi micromecanice de inalta calitate, reperi cu geometrii cu un inalt grad de complexitate, in ciclu complet automat. Acuratetea suprafetelor si rugozitatea sunt excelente iar piesa finala nu necesita prelucrari ulterioare. Lucrarea se bazeaza pe microtehnologii de ultima ora, care oglindesc stadiul actual al dezvoltarii domeniului atat in Romania cat si in lume.

Cuvinte cheie: mecatronica, biomecanica, rapid prototyping, rapid manufacturing, materiale si procese noi, modelare 3D, scanare CT

1. INTRODUCERE

1.1 Ce este Rapid Prototyping & Manufacturing

Procedeele sinterizarii selective (SLS – Selective Laser Sintering) dezvoltate dupa anul 1992 se bazeaza pe experienta de proiectare si fabricatie dobandita pe echipamentele stereolitografice (STL) dar si pe extinderea cercetarilor tehnologice asupra unor alte grupe de materiale cu proprietati mecanice si tehnologice mai apropiate de necesitatile ansamblelor functionale din constructia de masini (materiale ceramice, feroase si neferoase).

Procedeele sinterizarii selective laser au in vedere o mare varietate de materiale din care vor rezulta produse aflate la un stadiu superior de performante, adica cu proprietati fizico-mecanice apropiate de solicitarile din organele de masini uzuale.

Tehnologiile de prototipare si productie rapida folosind materiale si procese noi s-au dezvoltat in ultimii ani pe mai multe directii, in functie de materialul utilizat si de tehnologia de solidificare a materialului.

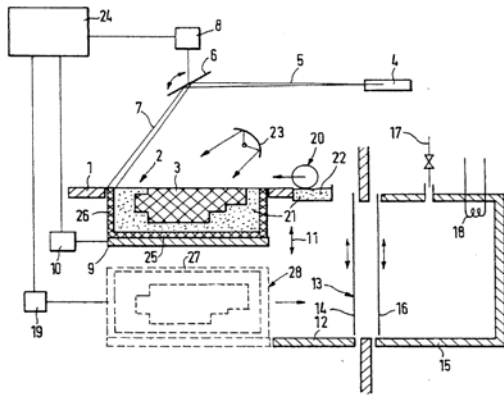
Implementarea acestei noi tehnologii s-a realizat intr-un Laborator de micro-nanotehnologii din INCDMTM – Institutul National de Cercetare – Dezvoltare pentru Mecatronica si Tehnica Masurarii, Bucuresti.



Figura 1. Exemplu de piese de test EOSINT M 270
(aceste piese au si o structura interioara sub forma de scara in spirala ascendenta)

La ora actuala INCDMTM este unic in tara in ceea ce priveste nivelul de dotare pentru tehnologiile de Sinterizare Selectiva Laser pentru metale.

Sinterizarea selectiva cu laser (SSL), sau SLS – Selective Laser Sintering, este o familie de metode care poate construi un corp solid din diverse tipuri de materiale (plastic, metal, ceramica inclusiv metale foarte rare sau cu proprietati fizico-mecanice si de biocompatibilitate deosebite) prin solidificarea pulberii de material, urmare a expunerii succesive a straturilor de pulberi la fasciculul laser de diverse puteri.



Schema de principiu

1. Sectiunea de lucru orizontala
2. Suprafata activa a placii de lucru
3. Sectiune prin piesa
4. Generator laser
5. Raza laser focalizata
6. Dispozitiv de deviere a razei laser
7. Raza laser deviata
8. Dispozitiv de control
9. Baza placii de lucru
10. Dispozitiv de ajustare
11. Indicator de sens
12. Placa receptoare
13. Deschidere
14. Usa etansa
15. Container de evacuare
16. Usa de etansare container
17. Mijloc de alimentare cu gaz inert
18. Incalzitor
19. Dispozitiv de descarcare
20. Dispozitiv de aplicare strat pulbere
21. Materialul pulverulent
22. Alimentare cu pulbere
23. Radiator de incalzire
24. Dispozitiv de control central
25. Stratul de fixare pulbere
- 25-28. Container

Astfel, se pot obtine piese, ansamble si subansamble cu orice fel de complexitate geometrica, imposibil de realizat prin alte procedee de prelucrare. Mai mult, procedeul este complet automatizat, nu necesita supraveghere iar controlul este realizat de echipamente inteligente high-tech.

Incepand cu anul 2007, INCDMTM - Institutul National de Cercetare – Dezvoltare pentru Mecatronica si Tehnica Masurarii, Bucuresti, este in continua dezvoltare in ceea ce priveste tehnologiile RP&M – Rapid Prototyping and Manufacturing (Tehnologii de Prototipare si Executie Rapida).

Odata cu implementarea si punerea in functiune a acestui echipament, INCDMTM a ajuns la un nivel de dotare de varf care ii permite participarea in consortii nationale, europene si/sau internationale in ceea ce priveste cercetarea stiintifica, dezvoltarea tehnologica si inovarea.

Astfel, poate face fata cu succes noilor provocari in ceea ce priveste tehnologiile inovative, in contextul unei economii globalizate si competitivitati crescute.

Pulberile metalice care pot fi utilizate cuprind o mare varietate de materiale ce include otelul inoxidabil implantabil sau de uz general, superaliaje de cobalt sau nichel, aliaje de titan sau titan pur.

Toate aceste materiale au calitati fizice si mecanice deosebite, mai bune decat materialele turnate sau forjate, astfel incat sunt recomandate pentru implanturi biomedicale, piese pentru industria aeronautica sau industria auto.

Proprietatile de biocompatibilitate, rezistenta la coroziune si greutatea specifica redusa, imbinata cu posibilitatea infinita de modelare geometrica 3D recomanda acest procedeu tehnologic ca instrument de lucru al viitorului ingineriei micro-mecanice, mecatronice si robotice.

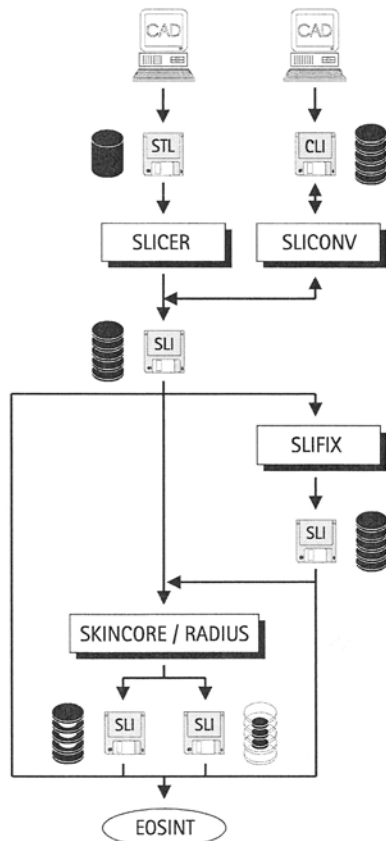
Piesele obtinute prin acest procedeu pot fi prelucrate ulterior dupa dorinta, daca se considera necesar acest lucru, prin orice procedeu mecanic cunoscut: frezare, strunjire, gaurire, zencuire, alezare, filetare, rabotare, mortezare, rectificare, brozare, lepuire, honuire, suprafinisare.

De asemenea, piesele pot fi prelucrate ulterior prin sablare, polisare, sudare, sablare cu alicie metalice, electroeroziune si prelucrare prin acoperire.

INCDMTM are ca strategie realizarea unui pol de excelenta in cercetare de nivel european cu un climat favorabil pentru cercetare-dezvoltare de noi tehnologii relationate cu imagistica medicala CT si RMN, modelarea geometrica 3D a structurilor osteo-articulare, parametrizarea mecanica si analiza FEM (Finite Element Method – Metoda Elementului Finit), chirurgie asistata de computer si evaluarea cantitativa a metodelor corective chirurgicale si ortopedice.

2. ECHIPAMENTUL TEHNOLOGIC HIGH-TECH UTILIZAT

Repere micro-mecanice speciale direct din fisiere CAD



Un număr foarte divers de materiale sunt disponibile pentru a fi utilizate cu sistemele high-tech EOSINT M270, oferind o gamă largă de aplicații de e-Manufacturing.

EOS CobaltChrome MP1 este o pulbere de super-aliaj de cobalt-crom ce a fost special optimizat pentru prelucrarea pe acest tip de masini high-tech.

Alte materiale sunt, de asemenea, disponibile pentru sistemele de EOSINT M, inclusiv un aliaj special de cobalt-crom-molibden pentru restaurari dentare.

Capacitatea de a produce astfel de piese extrem de rapid, economic și flexibil permite fabricarea de piese sau de loturi individuale, care, la rândul său, permite identificarea problemelor de proiectare sau de fabricație într-un stadiu incipient de dezvoltare a produsului iar timpul de punere pe piață este scurtat.

Aceasta noua tehnologie este folosită în domeniul de top, domeniul de inginerie și medicină, atât pentru scopuri civile cât și militare.

Cea mai avansată entitate de inginerie din lume, NASA, folosește tehnologia EOSINT M270 Titanium Version.



Figura 3. Echipamentul high-tech EOSINT M 270 Titanium Version în funcțiune în cadrul INCDMTM

3. MICROTEHNOLOGIA DE PROTOTIPARE RAPIDA

3.1 Unitatea mecanică

Unitatea mecanică are în componența următoarele:

1. Recoater
 2. Comparator micro-mecanic de ajustare
 3. Platforma high-tech inteligentă
 4. Comparator de ajustare la micron
 5. Aliniamentul de măsurare
- A. Micro-motor de ajustare micronica pe axa Y
B. Micro-motor de ajustare micronica pe axa X

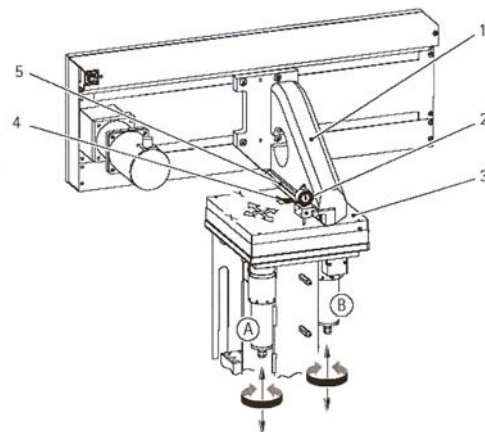


Figura 4. EOSINT M – unitatea mecanică

3.2 Unitatea optica

Unitatea optica are in componenta urmatoarele:

1. Scanner cu sisteme de protectie
2. Modul de ajustare al dimensiunii fascicului laser
3. Sistemul optic pentru raza laser
4. Colimator
5. Laserul cu fibra optica

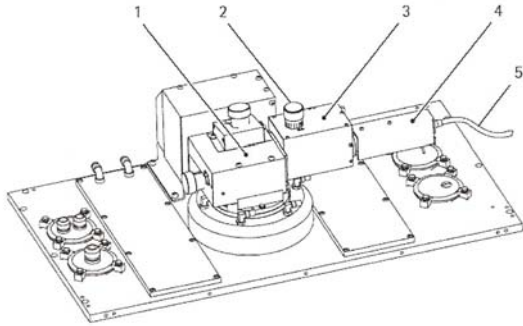
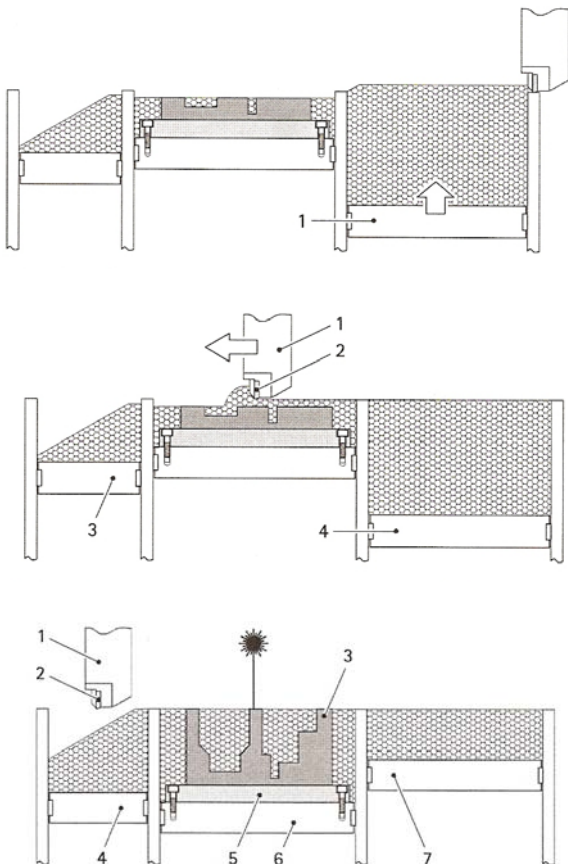


Figura 5. EOSINT M – unitatea optica

3.3 Parametri tehnologici



4. EXEMPLE DE APLICATII INDUSTRIALE IN INDUSTRIA MECATRONICA

4.1 Exemple de aplicatii industriale in domeniul medical si biomedical

Corpul uman are o geometrie foarte variata iar estetica lui are un rol major in integrarea omului in societate. Implanturile personalizate, ce tin cont de variabila individuala sunt din ce in ce mai cautate, inlocuind implanturile standardizate, inestetice. Mai mult, aceste implanturi pot fi folosite intr-un spectru foarte larg de specialitati chirurgicale, precum ortopedia, neurochirurgia, chirurgia cranio-maxilo-faciala, ortopedie-traumatologie, etc.

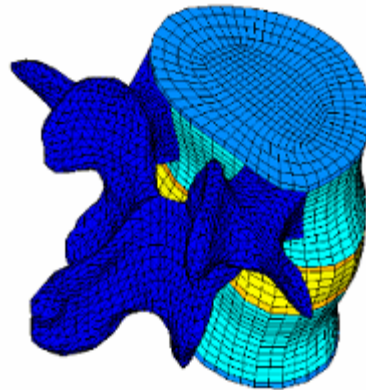


Figura 7. Analiza FEM pe o structura osoasa obtinuta din fisiere DICOM

Prin tehnologiile de prototipare rapida (rapid prototyping) se pot realiza combinatii unice de materiale si forme geometrice (spre exemplu, geometria unei vertebre umane, care are o geometrie unica pentru fiecare vertebra, fie ea cervicala, toracica, lombara sau sacrala, poate fi realizata fara probleme prin intermediul prototiparii rapide). Metodele traditionale de fabricatie cedeaza teren in fata acestei tehnici revolutionare, in domenii ca: inginerie biomedicala, electronica, aeronautica, arhitectura, arheologie, medicina, generand chiar noi domenii de studiu, cum ar fi proiectarea tesuturilor umane.



Figura 8. Pe baza transformarii norilor de puncte din fisierele DICOM se poate realiza modelare 3D

De mentionat un aspect foarte important in ceea ce priveste arie de aplicatie in domeniul biomedical:

Studiile microscopice efectuate de prestigioase laboratoare in lume: Oxford, MIT – Boston, Philips Plastic, General Electric, au relevat faptul ca prototipurile obtinute prin aceste procedee sunt perfect compacte, ne reprezentand urme de degradare a compozitiei.



Figura 9. Exemplu de complexitate geometrica realizata pentru domeniul cranio-maxilo-facial



Figura 10. Diverse elemente de protezare pentru implanturi biomedicale (sold, genunchi)

4.2 Exemple de aplicatii industriale in domeniul mecatronic

Expertiza noastra in domeniu:

1. Fabricarea de modele si prototipuri pentru produse biomedicale implantabile
2. Fabricarea de prototipuri functionale pentru industria auto si aerospatuala
3. Realizarea de matrite de inalta calitate
4. Proiectare si posibilitati de testare statica si dinamica a implanturilor si a altor piese mecanice pentru industrie
5. Posibilitati de realizare geometrii complexe imposibil de realizat prin alte procedee de prelucrare a metalului



Figura 11. Element micro-mecanic specializat

4.3 Exemple de aplicatii industriale in domeniul mecanica de precizie

Pentru dezvoltarea de aplicatii industriale in domeniul mecanica de precizie INCDMTM foloseste software de proiectare CAD si software specializat prototipare rapida:

- SolidWorks 2009 SP3.0, RapidWorks 2.3.1, NextEngineHD
- EOS RP-Tools (single non-expiring licence)
- EOS PSW offline (single non-expiring licence)
- Materialise Magics RP v.10 licensed version with additional module SG
- EOSTYLE



Figura 12. Elemente din aria de mecanica de precizie realizate in cadrul INCDMTM

Principala capabilitate a prototiparii rapide (rapid prototyping) este aceea ca permite realizarea in interval de 3 pana la 72 de ore (in functie de complexitatea modelului) un prototip, pornind de la un model proiectat in CAD (computer aided design – proiectare asistata de computer) sau cu ajutorul unui soft de simulare a modelarii (animation modeling software).



Figura 13. Element complex de inalta durabilitate

4.4 Exemple de aplicatii industriale in domeniul aerospacial



Figura 14. Element realizat din Inconel 625 (2.4856)

5. IMPACTUL IMPLEMENTARII TEHNOLOGIEI DE PROTOTIPARE RAPIDA

Impactul implementarii tehnologiei de prototipare rapida se concretizeaza prin realizarea urmatoarelor obiective:

-creșterea capacității de cercetare prin dezvoltarea infrastructurii de CD și atragerea de tineri și de specialiști de înaltă calificare;

- întărirea ofertei de cunoștințe realizată de universități și institute de CD;

- stimularea transferului tehnologic bazat pe cooperarea dintre instituții CD și întreprinderi;

-stimularea cererii de inovare a întreprinderilor;

-susținerea formării și dezvoltării firmelor bazate pe înalte tehnologii;

-dezvoltarea de poli de excelență.

INCDMTM va sustine cercetari intr-un domeniu de ultima ora la nivel international, deci rezultatele vor crea un efect multiplicator al investitiei alocate, in special pentru ca indicatorii de rezultat urmariti sunt pe termen mediu si lung.

Din punct de vedere economic, prin crearea de spin-off-uri inovative de nivel international se va crea competitie intr-o economie globalizata, ceea ce va genera calitate.

Cercetarile privind optimizarea elementelor protetice din biomateriale obtinute prin sinterizare selectiva laser este in conformitate cu documentul CE „Science and technology, the key to Europe's future - Guidelines for future European Union policy to support research” - EC COM (2004) 353, aria tematica si obiectivele noastre sunt relevante si se incadreaza in eforturile comune de dezvoltare a European Research Area, in perspectiva abordarii Programului Cadru 7 (Seventh Framework Programme – FP7).

Pe plan international INCDMTM a creat premisele realizarii de cooperari cu:

- Anglia Ruskin University - Faculty of Science and Technology - Department of Computing and Technology - The Bioengineering research group - Dr. Rajshree Mootanah – Chelmsford, Anglia

- Universitatea din Maribor, Facultatea de Inginerie Mecanica – Prof. Univ. Dr. Ing. Igor Drstvensek

- National Aerospace Research Center, ONERA, Franta - Deputy Director "New Business" - Florin Calin PAUN

- Microsoft Research in Silicon Valley, Ph.D. Mihai Budiu

- Institutul Fraunhofer – Optica si Mecanica Fina – Dipl. Eng. Matthias Heinze

- Kunststoff-Institut fur die mittelstandische Wirtschaft NRW GmbH (KIMV) – Dipl.Eng. Udo Hinzpeter

- Hochschule Darmstadt University of Applied Sciences – Institut

- Institutul Central de Cercetare-Dezvoltare pentru Metalurgie (www.cmr.di.sci.eg), El-Tebeen, Helwan, 11422, Cairo, Egypt , Directorul Laboratorului CAD/CAE si Prototipare Rapida, Prof. Dr. Khalid Abd Elghany

De asemenea, se va realiza afilierea INCDMTM la GARPA – Global Alliance of Rapid Prototyping Associations.

6. NOI PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE A TEHNOLOGIEI DE PROTOTIPARE RAPIDA

Noile perspective de dezvoltare a tehnologiei de prototipare rapida vizeaza:

1. Reducerea fragmentarii eforturilor de cercetare-dezvoltare in elaborarea de noi componente pentru aparate de cercetare, in domeniul medical, aerospacial si auto prin stimularea si

optimizarea reala a unor procese de proiectare la tema;

2. Identificarea principalelor cerinte ale domeniilor din industria auto, biomedicala si aerospaciala in directia componentelor aparaturii de cercetare precum si evidentierea unor posibile pietee de desfacere.
3. Oferirea unor servicii de consultanta / expertiza in domeniul componentelor pentru aparatura de cercetare si biomedicala, implantology, 3D scanning, CT scan, RMN scan, DICOM files manipulation, 3D design, e-Manufacturing (Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing, Rapid Tooling);
4. Crearea si implementarea unor noi sisteme de analiza caracterizare / incercare si masura, compatibile cu societate dezvoltata.
5. Stabilirea unor legaturi / parteneriate de colaborare cu laboratoare de cercetare si centre de excelenta din tara si din Europa, inclusiv in proiecte FP 7.
6. Obtinerea capacitatii de dezvoltare de parteneriate cu agenti economici interesati de realizarea unor componente pentru aparate / echipamente la tema, in regim de prototip sau serie mica.

In ceea ce priveste noile tehnologii din domeniul componentelor pentru aparatura de cercetare si biomedicala, implantologie, 3D scanning, CT scan, RMN scan, manipulare fisiere DICOM , 3D design, e-Manufacturing (Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing, Rapid Tooling), se deschide o noua era a colaborarii inginer – medic – specialist IT.

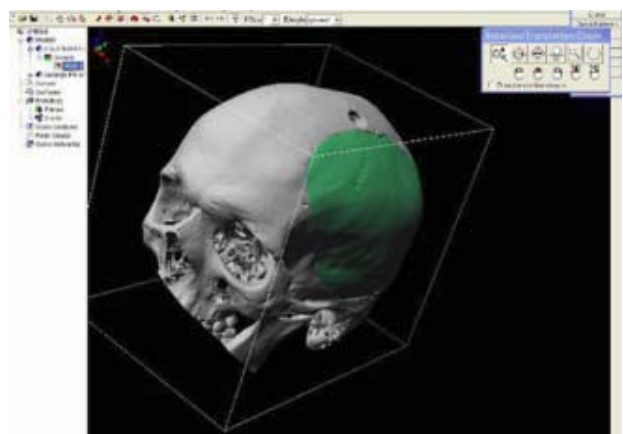


Figura 15. Exemplu practic de pozitionare cu acuratete a implantului pe modelul generat din fisierele CT

Cel mai simplu mod de a reconstrui structura osoasa a unui pacient este de a folosi imagini CT care există deja de la tratamente anterioare ale pacientului. Un set de imagini CT poate fi transformat într-un model digital, folosind unul dintre cele câteva pachete software disponibile pentru conversie, cum ar fi: Mimics (Materialise), RapidForm (Inus Technology), 3D doctor (Able Software), Amira (Mercury Computer), sau altele (industria software în acest domeniu este în plin avânt).

Datele de intrare la aceste pachete software sunt, de obicei, sub formă de fișiere DICOM iar datele de ieșire sunt predominant STL (Standard Tessellation Language), care pot fi utilizate direct în cele mai multe tehnologii RP pentru a produce modele reale (figura 16).

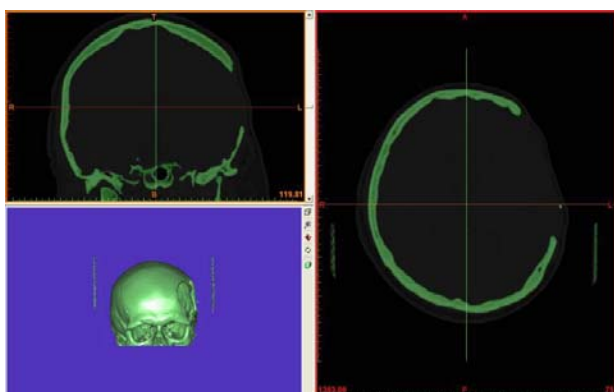


Figura 16. Reconstrucția 3D a craniului după fișiere DICOM

Revoluția CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design /Manufacturing /Engineering) și a aparaturii de imagistică medicală precum și a posibilității nelimitate de scanare tridimensională a condus la realizări și orizonturi de așteptare extraordinare. Reconstrucția structurii osoase a pacientului poate fi individualizată cu un efort minim și în siguranță deplină datorită posibilității de manipulare a fișierelor CT de tip DICOM și transformarea lor în fișiere STL și/sau CAD ce pot fi prelucrate 3D. Analiza eforturilor și deformațiilor se poate realiza prin analize FEM/CFD (Finite Element Analysis/Computer Fluid Dynamics). Astfel, medicul și inginerul are tot timpul imaginea reală a pacientului iar datele sale anatomice pot fi manipulate, fără a-l deranja pe acesta din urmă absolut deloc.

Dacă se dorește și o confirmare practică a rezultatelor 3D, în materie de câteva ore (2-20 ore) poate fi realizat orice geometrie implantabilă. Mai mult, duritatea materialului poate fi controlată prin variația intensității de expunere și a modalității de depunere a straturilor metalice/plastice/ceramice.

În plus, varianta fizică finală poate fi testată pe mașini de încercare mecanică statică și dinamică pentru a confirma siguranța soluției proiectate.

7. CONCLUZII

Prototiparea rapidă (**rapid prototyping**) se dovedește un instrument deosebit de flexibil și util în munca de cercetare și elaborare prototipuri.

În prezent, pe plan mondial sunt dezvoltate numeroase metode tehnologice de realizare a prototipurilor rapide.

Din tabelul sintetic de mai jos reiese clar superioritatea tehnologiei implementate în cadrul INCDMTM.

Tabel 2. Tabel sintetic al procedurilor de RP&M (Rapid Prototyping and Manufacturing) în funcție de performanțe

METODA DE REALIZARE PROTOTIPURI RAPIDE	Acuratete (mm)	Dimensiuni maxime prototip (mm)	Timp de procesare (hh:mm)
FDM=Fused deposition modeling=modelarea depunerilor prin fuziune	0.005	254x254x254 (Stratasy)	12:39
LOM=Laminated object modeling=modelarea obiectelor prin laminare	0.01	812x558x508 (Cubic Technologies)	11:02
SLS=Selective laser sintering=sinterizare laser selectivă	0.005	381x330x457 (3D Systems) (EOS – Germania)	4:55
SGC=Solid ground curing	0.006	508x355x508 (Cubital)	11:21
SLG=Stereolithography=stereolitografie	0.003	990x787x508 (Sony) (EOS – Germania)	7:03
Robocasting	0.1	240x240x240 (Fab@Home)	TBD

INCDMTM susține crearea unui pol de excelență în cercetare de nivel european cu un climat favorabil pentru cercetare-dezvoltare de noi tehnologii relatează cu imagistică medicală CT și RMN, modelarea geometrică 3D a structurilor osteo-articulare, parametrizarea mecanică și analiza FEM (Finite Element Method – Metoda Elementului Finit), chirurgie asistată de computer și evaluarea cantitativă a metodelor corective chirurgicale și ortopedice.

Laboratorul de cercetare-dezvoltare în domeniul sinterizării selective laser pentru pulberi metalice prin procedee tehnologice mecanice și micromecanice de prototipare rapidă va genera masa critică de experți și de cunoaștere astfel încât să se dezvolte un pol de excelență în cercetare de nivel european cu un climat favorabil pentru cercetare-dezvoltare de noi tehnologii aflate în strânsă legătură cu imagistică medicală CT și RMN, modelarea geometrică 3D a structurilor osteo-articulare, parametrizarea mecanică și analiza FEM (Finite Element Method – Metoda Elementului Finit), chirurgie asistată

de computer si evaluarea cantitativa a metodelor corective chirurgicale si ortopedice.

8. BIBLIOGRAFIE

- [1] Bannon, B. P., and Mild, E. E., „**Titanium Alloys for Biomaterial Application: An Overview,**” Titanium Alloys in Surgical Implants, ASTM STP 796, H. A. Luckey and Fred Kubli, Jr., Eds., American Society for Testing and Materials, 1983, pp. 7-15
- [2] MCP HEK Tooling GmbH, Selective Laser Melting Technology, www.mcp-group.de
- [3] Installation Conditions – EOSINT M 270, ED.01.08, 9212-0041, EOS GmbH – Electro Optical Systems
- [4] Ciobota N.D., Titanium and Titanium Alloys for Biomedical and Industry Applications, National Institute of Research and Development for Mechatronics and Measurement Technique, Bucuresti, International Conference 6th Workshop on European Scientific and Industrial Collaboration on promoting Advanced Technologies In Manufacturing WESIC’08, Bucharest 25-26 September 2008
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Titanium_alloy
- [6] http://www.healthpointcapital.com/about_us/
- [7] Euro-Titan Handels AG, Solingen, Germany
- [8] Igor Drstvensek, Natasa Ihan Hren, Tadej Strojnik, Tomaz Brajliah, Bogdan Valentan, Vojko Pogacar, Tjasa Zupancis Hartner., „ **Applications of Rapid Prototyping in Cranio-Maxillofacial Surgery Procedures,**” International Journal of Biology and Biomedical Engineering, Issue 1, Volume2, 2008, pp. 29-38
- [9] Material data sheets – EOSINT M 2x0, EOS GmbH – Electro Optical Systems, Robert-Stirling-Ring 1, D-82152 Krailling / München
- [10] Handzettel, EOS GmbH, 02-07, MS, M_Standard_en
- [11] <http://www.eos.info>
- [12] <http://www.pddnet.com/news-eosint-m-270-system-purchased-for-titanium-in-n-america-052209/>
- [13] Wohlers, T. Wohlers Report 2006, Wohlers Associates, Fort Collins, 2006
- [14] Dolinsek, S., Kopac, J., Prodan, I. Industrial applications with DMLS rapid tooling. V: International Manufacturing Leaders Forum, , IMLF2005 : proceedings. Adelaide, Australia, 2005, pp. 117 – 122
- [15] Bell, W. H., Modern practice in orthognatic and reconstructive surgery, W. B. Saunders company, Philadelphia,1992
- [16] Dumitriu, D., Drstvensek, I., Ihan-Hren, N., Balc N., Development of a Custom Maxillofacial Implant by Means of Rapid Prototyping, Proceedings of the 2nd International Conference on Additive Manufacturing, DAAAM International, 2008.
- [17] Drstvensek, I., Strojnik, T., Brajliah T., Valentan, B., Rapid Technologies Supporting Surgical Operations - Case Study, Proceedings of the 1st International Conference on Additive Manufacturing, DAAAM International, 2007.
- [18] De Vleeschouwer, M., The Usage of Medical Images for Creating Custom FE And CFD Models, Proceedings of the 1st International Conference on Additive Manufacturing, DAAAM International, 2007.
- [19] Iliescu, M., Nutu, E., Georgescu, L., Finite Element Method Simulation and Rapid Prototyping, Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines (POWER '08), 2008, pag. 257