

CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA TEHNICILOR DE PROTOTIPARE RAPIDĂ PRIN FREZARE

Teză destinată obținerii
titlului științific de doctor inginer
la
Universitatea "Politehnica" din Timișoara
în domeniul INGINERIE INDUSTRIALĂ
de către

Ing. Adrian-Ilie DUME

Conducător științific: prof.dr.ing. Tudor Alexandru ICLĂNZAN
Referenți științifici: prof.dr.ing. Petru BERCE
prof.dr.ing. Gheorghe ACHIMAȘ
conf.dr.ing. Valentin SEICULESCU

Ziua susținerii tezei: 26.11.2008

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2008

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Prezenta lucrare este rezultatul activității prestate în perioada stagiului ca doctorand la Facultatea de Mecanică.

Îmi exprim întreaga considerație față membrii comisiei de doctorat, domnul președinte al comisiei prof. univ. dr. ing. Liviu BERETEU decanul Facultății de Mecanică din Timișoara și domnii prof. dr. ing. Petru BERCE de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, prof. dr. ing. Gheorghe Achimaș de la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca și conf. dr. ing. Valentin SEICULESCU de la Facultatea de Mecanică din Timișoara, care au răspuns solicitării de a face parte din comisia de analiză a tezei, pentru observațiile făcute și pentru timpul acordat lucrării.

Timișoara, noiembrie 2008

Adrian Ilie Dume

fratelui și soției

Dume, Adrian Ilie

Cercetări privind îmbunătățirea tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare

Teze de doctorat ale UPT, Seria 8, Nr. 14, Editura Politehnica, 2008, 176 pagini, 268 figuri, 9 tabele, 3 anexe (8 pagini).

ISSN: 11842-8967

ISBN: 978-973-625-767-4

Cuvinte cheie: scanare prin contact, prototipare rapidă, măsurări tridimensionale, CAD-CAM

Rezumat:

Lucrarea de față se înscrie în cadrul cercetărilor care au ca scop îmbunătățirea tehnicii de prototipare rapidă prin frezare, prin găsirea unor soluții tehnice și adoptarea unor proceduri care să facă posibilă obținerea unor prototipări performante

În contextul de mai sus obiectivul principal al prezentei teze a constat în studiul îmbunătățirii tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare astfel încât să se ofere soluții adecvate suficient de performante și precise pe baza unor platforme de lucru versatile și cu costuri de achiziție și mentenanță rezonabile.

Prin cercetările efectuate în cadrul tezei de doctorat, raportate la evaluări pe cazuri concrete și reprezentative de fabricație s-au putut identifica importante resurse de ameliorare și raționalizare a utilizării tehnicii de prototipare rapidă folosindu-se fie echipări standard (mașini CNC) existente în întreprinderi cu proprie potențialitate tehnică, fie pe platforme operaționale dezvoltate în universitate și care pot servi în egală măsură (prin asistența tehnică) nevoilor imediate și specifice a întreprinderilor mici și mijlocii fără a mai fi nevoie de investiții suplimentare și costisitoare.

CUPRINS

Prefață	Pag. 1
Capitolul 1. INTRODUCERE ÎN TEHNICA PROTOTIPĂRII RAPIDE	Pag. 2
1.1. Considerații generale.	Pag. 2
1.1.1. Câteva considerații despre evoluția de la Rapid Prototyping la Rapid Tooling.	Pag. 5
1.1.2. Realizarea unei proiectări optime utilizând modelele RP	Pag. 8
1.1.3. Teste fizice bazate pe modele RP.	Pag. 10
1.1.4. Fabricarea mai rapidă, mai bună și mai ieftină folosind modele RP	Pag. 10
1.2. Prelucrarea CNC sau Prototiparea Rapidă.	Pag. 14
1.2.1. Procedeele de îndepărtare al materialului	Pag. 15
1.2.2. Procedee ce combină adăugarea și îndepărtarea materialului.	Pag. 16
1.3. Tendințe actuale și politici de dezvoltare în domeniul fabricației rapide a prototipurilor – RP.	Pag. 19
1.3.1. Brevete în aplicare (active)	Pag.19
1.4. Realizări de referință în utilizarea prototipării rapide pe plan mondial	Pag.29
1.4.1. Clienții Prototipării Rapide	Pag.29
1.4.2. Producătorii din SUA	Pag.30
1.4.3. Producătorii din Europa	Pag.38
1.4.4. Producătorii din restul lumii	Pag.41
1.4.5. Realizări de referință în utilizarea prototipării rapide pe plan mondial	Pag.44
1.4.6. Rețeaua Fraunhofer de Prototipare Rapidă	Pag.48
Capitolul 2. CLASIFICAREA ȘI ANALIZA TEHNICILOR DE PROTOTIPARE RAPIDĂ	Pag.54
2.1. Stereolitografia	Pag.54
2.2. Sinterizare selectivă cu laser	Pag.60
2.3. Formare unor rețele cu laser	Pag.65
2.4. Topire cu fascicul de electroni	Pag.68
2.5. Fabricarea obiectelor prin laminare	Pag.70
2.6. Modelare prin depunere îmbinată	Pag.73
2.7. Solid ground curing	Pag.78
2.8. Jeturi de cerneală	Pag.80
2.9. Imprimarea 3D	Pag.84
2.10. Echipament și soft folosit de firma ROLAND	Pag.88
Capitolul 3. OBIECTIVELE CERCETĂRII	Pag.93
Capitolul 4. PLATFORMA OPERAȚIONALĂ PENTRU REALIZAREA CERCETĂRII	Pag.95
Mașina MODELA MDX 15	Pag.96

6 Cuprins

Mașina de frezat 2,5D ISEL – GFM 4433	Pag.99
Mașina de măsurat tridimensională TESA 3D	Pag.101
Capitolul 5. CERCETĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND SCANAREA ȘI GENERAREA MODELULUI VIRTUAL PENTRU PIESE CU SUPRAFEȚE COMPLEXE	Pag.104
5.1. Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză”	Pag.104
5.2. Studiu de caz pentru reperul „proteza dentară”	Pag.110
5.3. Studiu de caz pentru scanarea unei suprafețe complexe „mască”	Pag.124
Capitolul 6. CERCETĂRI PRIVIND REALIZAREA PRIN PROTOTIPARE RAPIDĂ A MODELELOR FIZICE ȘI EVALUAREA ACESTORA	Pag.155
6.1. Prototiparea prin frezarea unui reper tip „receptor de telefon”	Pag.155
6.2. Prototiparea prin frezarea a reperului tip „priză”	Pag.159
6.3. Prototiparea prin frezare a reperului tip „mască”. Evaluarea comparativă	Pag.163
6.3.1. Prototiparea pe mașina ISEL	Pag.164
6.3.2. Prototiparea pe mașina MODELA MDX 15	Pag.166
6.3.3. Prototiparea pe mașina CNC.	Pag.168
6.3.4. Controlul dimensional al pieselor executate pe cele trei tipuri de mașini unelte (ISEL, MODELA MDX 15 și MU-CNC)	Pag.177
Capitolul 7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	Pag.188
7.1. Concluzii	Pag.188
7.2. Contribuții personale	Pag.189
7.3. Direcții viitoare de cercetare	Pag.190
BIBLIOGRAFIE	Pag.192
ANEXE	

2. PREFAȚĂ

Prototiparea rapidă este din tehnicile revoluționare ale mileniului trei. Impactul ei asupra dezvoltării industriale este adesea comparat cu cel pe care l-a avut apariția comenzii numerice.

Cercetători și specialiști din industrie dar mai ales cei din sectoare de activitate considerate de avangardă (aeronautică, automobile), sau din sectoare considerate social sensibile (tehnica medicală) caută în permanență tehnici mai noi sau îmbunătățiri ale celor existente deoarece resursele de dezvoltare ale acestora sunt departe de a fi epuizate.

În ultimii ani și în România au început să apară preocupări pe această direcție, din ce în ce mai mulți cercetători din universități angajând lucrări cu tematică punctuală, iar partenerii din mediul industrial începând să solicite servicii în acest domeniu. În această tendință cu o puternică dinamică pozitivă se înscrie realizarea la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca a primului Centru Național de Prototipare și Fabricare Rapidă a cărui dotare și competențe sunt printre cele mai avansate din zona de sud-est a Europei. De dată relativ recentă este și realizarea la Universitatea Politehnică din Timișoara a unui laborator de prototipare asociat cu unul de măsurării tridimensionale care au permis abordarea unor teme de studiu și o ofertă de servicii de consultanță pentru terți, privind tehnica prototipării rapide prin frezare.

Obiectul principal al tezei de doctorat îl constituie îmbunătățirea tehnicii de prototipare rapidă prin frezare, prin găsirea unor soluții tehnice și adoptarea unor proceduri care să facă posibilă obținerea unor prototipări performante.

În realizarea tezei și asumarea unui obiectiv de cercetare care a fost atins după numeroase studii, cercetări, selecții de proceduri și chiar rezolvări administrative inevitabile și consumatoare de resurse, subsemnatul a realizat o lucrare de care poate fi mulțumit în raport cu realitățile academice și economice ale momentului, dar mai puțin mulțumit în raport cu propriile așteptări. Această contradicție aparentă îmi deschide perspectiva de a rămâne în continuare activ în acest domeniu, respectiv sensibil la evoluțiile domeniului și sugestiile specialiștilor și reactiv în sensul pozitiv al angajării și participării în continuare la efortul colectiv al societății.

Toate aceste cercetări și elaborarea tezei nu ar fi fost posibile fără coordonarea și urmărirea permanentă din partea domnului Prof.dr.ing. **Tudor Alexandru ICLĂNZAN** față de care doresc să exprim mulțumirile mele pentru îndrumarea, încrederea și încurajarea acordată în calitate de conducător științific.

Pentru sprijinul, sugestiile și materialele puse la dispoziție pe parcursul activității de cercetare doresc să le mulțumesc colegilor din cadrul *Catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini* din Facultatea de Mecanică a Universității POLITEHNICA din Timișoara.

De asemenea doresc să-i mulțumesc și să exprim cele mai alese sentimente pentru soția mea, care m-a susținut și încurajat în permanență pentru realizarea acestei lucrări.

Autorul

2. INTRODUCERE ÎN TEHNICA PROTOTIPĂRII RAPIDE

2.1. Considerații generale [BER 00],[WTE 08].

Prototiparea rapidă este un proces tehnologic automatizat prin care se construiește un obiect fizic utilizând tehnica de fabricarea unui solid cu formă oarecare. Primele tehnici de prototipare rapidă s-au pus în utilizare spre sfârșitul anilor 1980 având ca și scop producerea unor modele sau părți de prototip. Acum au o gamă mult mai largă de utilizare, de exemplu pot fi fabricate piese de calitate într-un număr scăzut, sculptorii îl folosesc această tehnologie pentru a crea forme complexe pentru expoziții de artă [BER 00].

Prototiparea rapidă se bazează pe modelele virtuale create pe calculator (CAD) sau pe programe de modelare, acestea fiind secționare se obțin straturi orizontale, subțiri ale modelelor virtuale. Aceste secțiuni sunt materializate fizic, unul după altul până când se obține modelul. Este un proces denumit „ceea ce vezi acea și obții” („what you see is what you get”), adică modelul virtual pe care îl vezi pe ecran și modelul fizic sunt aproape identice.

Prin fabricația aditivă mașina primește datele de la un desen CAD urmând ca să depună straturi succesive de lichid, pudră, sau din material tip bandă construind în acest fel modelul, din mai multe secțiuni. Aceste straturi, care corespund cu secțiunile virtuale ale modelului CAD, sunt îmbinate automat pentru a crea forma finală. Avantajul fabricației aditive este posibilitatea de a obține orice tip de formă.

Formatul standard a fișierelor prin care se transmite informația este STL. Acest tip de fișier aproximează forma modelului sau a unei asamblări utilizând fațete triunghiulare. Cu cât aceste fațete sunt mai mici cu atât crește și calitatea suprafeței [NAG 03], [CHU 08].

Cuvântul „rapid” este relativ deoarece construirea unui model prin metode contemporane poate dura de la ore până la zile întregi, depinzând de metoda aplicată, de complexitatea geometrică și mărimea piesei. Sistemele aditive, pentru prototiparea rapidă, au posibilitatea de a produce modele în câteva ore, aceasta depinzând de tipul mașinii utilizate de dimensiunea și numărul modelelor care sunt produse simultan.

Unele tehnici de fabricare a unui solid cu formă oarecare utilizează două materiale în cursul fabricării modelelor. Primul material este cea care formează modelul, iar al doilea este cel care susține anumite părți ale modelului, urmând ca materialul ce realizează susținerea să fie înlăturat prin topire sau cu ajutorul unui solvent ori apă.

De obicei injectarea în matrită poate fi mai ieftină în cazul produselor din material plastic fabricate în cantități mari, însă fabricarea aditivă poate fi mult mai rapidă și mult mai ieftină în cazul producției de serie mică.

Încet Prototiparea rapidă începe să intre în domeniul Producției rapide și se prezice de mulți experți că acesta este noul nivel de tehnologie.

Piața oferă un număr mare de tehnologii și cum toate sunt tehnologii aditive, diferențele majore se regăsesc în modul în care sunt construite straturile care compun modelul final. Unele topesc sau înmoaie materialul pentru obținerea

straturilor, iar altele folosesc materiale termosensibile care sunt uscate, solidificate prin diferite tehnologii. În cazul sistemelor de laminare, straturi subțiri sunt tăiate după forma modelului, urmând să fie lipite între ele.

Prototiparea rapidă, sau mai precis tehnologia de fabricare aditivă, a evoluat constant în ultimele două decenii. Industria constă din circa 50 de companii comerciale care fabrică produse și oferă servicii în acest domeniu. Patru dintre cele mai importante companii au înregistrat vânzări estimate până la 357 de milioane de dolari numai în 2006, cu o creștere de 15% față de 2005.

3D Systems au fost pionierii în acest domeniu prin comercializarea primului sistem bazat pe stereolitografie în 1988. 3D Systems rămâne un fruntaș al domeniului, dar în 2002 firma Stratasys a vândut de 2 ori mai multe sisteme ca și 3D Systems, și astfel s-a mai echilibrat competiția. Numărul total de sisteme instalate au depășit numărul de 11,000 la sfârșitul lui 2003, dar în 2007 Stratasys a reușit singură să vândă 7,000 de sisteme.

Primele mașini se vindeau la prețuri de peste 100,000 mii de dolari, și deși se înregistrau economii ce depășeau cu mult valoarea echipamentului cumpărat, acestea nu se vindeau într-un număr excesiv.

În ultimii anii, s-a înregistrat o diminuare față de sisteme cu un preț mult mai redus, așa cum ar fi imprimantele 3D. Acestea pot fi găsite lângă grupuri de ingineri și alți utilizatori, fiind mult mai ușor de utilizat. Acestea sunt folosite pentru a verifica funcționalitatea unei aplicații, și pot fi utilizate frecvent pentru producerea unor repere funcționale.

La începutul anului 1996 prețul sistemelor a scăzut sub 60,000 de dolari, astfel utilizatorii au ajuns la concluzia că este mai simplu de cumpărat un sistem de prototipat. La începutul lui 2002, doi competitori din SUA, Stratasys și Z Coporation, au introdus pe piață sisteme cu un preț sub 30,000 de dolari care au avut un efect bun asupra vânzărilor. În 2006, sisteme mai puțin dotate sunt vândute la prețuri sub 15,000 de dolari, și cel puțin un comerciant din Asia vinde un sistem de stereolitografiat sub 10,000 de dolari, iar în vara lui 2007 s-au introdus sisteme capabile ce se vând sub 5,000 de dolari [INT 07].

Multe dintre mașinile de prototipare rapidă se vând la prețuri ce depășesc o sută de mii de dolari, fapt justificat prin acuratețea sporită, viteza de lucru mai mare și utilizarea materialelor mai funcționale decât cele folosite la imprimantele 3D. Un număr mult mai mare de mașini vor scădea prețurile de producție și oferă o creștere în domeniul vânzării materialelor speciale.

Este asemănător cu domeniul imprimantelor, care obligă cumpărarea cernei pentru ca imprimanta să funcționeze.

Mașinile de prototipare rapidă pot fi utilizate pentru fabricarea directă a unei piese funcționale, sau a unui reper de uz final. Prototipare rapidă pătrunde într-un domeniu în care abilitatea de a produce geometrii complexe, sau repere personalizate sau unice este importantă.

Domenii precum cel aerospațial și a medicinei au fost printre primii utilizatori ai fabricării aditive și în majoritatea aplicațiilor au devenit o rutină. Acest domeniu este în plină înflorire datorită îmbunătățirilor care sunt făcute pentru aparate și materiale, și datorită răspândirii procedeelor.

Majoritatea reperelor proiectate sunt folosite pentru verificări ale formei, pentru testarea asamblărilor și pentru testarea funcționalității unor piese. În cadrul fabricării rapide se merge pe ideea utilizării mașinilor de prototipat pentru producerea unor piese finale.

În ansamblul lor, sistemele de producție sunt într-o profundă și continuă schimbare, iar aceasta este determinată de o serie de factori convergenți spre o

singură deviză: *a realiza mai ieftin și mai repede, produse de calitate bună, fără a polua*. Acești factori sunt efectul mondializării, al reducerii duratei de lansare pe piață a unui produs, cât și a duratei sale de viață, al luării în considerație a mediului înconjurător, al creșterii puterii informatice legate de rețelele de comunicație etc.

Cu siguranță, o istorie a tehnologiilor ar trebui să prezinte nu numai o evoluție a lor din punct de vedere cantitativ, ci și, mai ales, o evoluție din punct de vedere al performanțelor lor.

Încercând o clasificare a tehnologiilor cunoscute și utilizate până la începutul anilor '90, le-am putea împărți pe acestea în două mari grupe:

- *tehnologii de prelucrare prin înlăturare de material*, care pleacă de la o mai mare cantitate de material brut și înlătură materialul în exces prin folosirea unor metode convenționale (strunjire, frezare, rectificare, etc.) sau prin metode neconvenționale (electroeroziune, prelucrare cu laser, ultrasunete etc.) [BER 00];
- *tehnologii de prelucrare prin redistribuire de material*, care pornesc de la o cantitate corectă de material brut pe care-l redistribuie la forma solicitată prin deformare în stare solidă (forjare, ștanțare, trefilare, extrudare etc.), sau redistribuire în faza lichidă sau semilichidă (turnare, modelare prin injecție etc.) [BER 00].

În anii '90 apare o a treia grupă de tehnologii care se deosebește fundamental de primele două, în sensul că folosește un alt principiu pentru materializarea unei piese, tehnologii cunoscute sub numele de **tehnologii de fabricare rapidă a prototipurilor (Rapid Prototyping – RP)**, care realizează piesa prin adăugare de material „atât cât este necesar și unde este necesar” [BER 00].

Evident, nimeni nu ia nimic de la capăt. Însuși Meșterul Manole a zidit pe un loc unde se afla un zid părăsit. Adică pe o ruină, care ruină este de fapt imaginea, cea mai elocventă a elementului de continuitate de care are nevoie un proces de evoluție. În consecință, și aceste tehnologii au apărut ca rezultat al realizărilor și progreselor făcute în domeniul mecanicii fine, al comenzilor numerice, al tehnologiei laserelor, al calculatoarelor, mai ales al software-ului, și nu în ultimul rând, al materialelor.

Termenul de Rapid Prototyping este atribuit acestor noi tehnologii care încep să crească în importanța datorită căutărilor producătorilor de a reduce timpii de la concepție până la desfacerea pe piață, precum și costurile pentru asimilarea și fabricarea unor noi produse [BER 00].

Caracteristica tuturor acestor sisteme este abilitatea lor de a realiza obiecte complexe tridimensionale, plecând de la o descriere CAD, fără a utiliza mașini-unelte sau anumite SDV-uri.

Deci principalul obiectiv al prototipării rapide a produsului este fabricarea unui model fizic în timp scurt, cel mai mic cost, cu minim de utilaje și de etape intermediare în procesul de realizare. Devine posibil astfel ca în cursul ciclului de dezvoltare al produsului să se realizeze:

- detectarea din timp, fără consecințe majore asupra costului final, a eventualelor probleme de concepție;
- testarea din timp a soluțiilor tehnologice alternative;
- validarea din timp a fezabilității industriale, optimizarea formelor și a costurilor utilajelor viitoare necesare fabricării în serie, reducându-se riscurile de modificare în timpul fazei de industrializare a produsului;
- îmbunătățirea caracteristicilor operaționale (mecanice, aerodinamice, estetice, ergonomice etc.) ale produsului, pe parcursul testelor efectuate pe modelul fizic.

1.1.1. Câteva considerații despre evoluția de la Rapid Prototyping la Rapid Tooling.

Cuvântul cheie pe care-l folosesc toate aceste tehnologii este **secțiune**. Piesele sunt cantificate în secțiuni și construite folosind un proces repetativ de construcție a piesei, secțiune cu secțiune. Prin urmare, o problemă tridimensională a fost redusă la una plană. Prețul plătit însă pentru această reducere dimensională este o diminuare a preciziei și a calității suprafețelor datorită efectului de scară. Toate tehnologiile urmează aceiași pași de bază și anume:

- Realizarea modelului CAD care cuprinde o descriere completă a piesei, folosind un program și o metodă adecvate acestor tehnologii;
- Transferarea modelului CAD spre procesorul de secționare. Secționarea poate fi făcută, în multe cazuri, chiar de programul CAD folosit pentru modelare. Cea mai comună metodă este aproximarea modelului cu elemente triunghiulare plane.

Modelul triunghiularizat astfel este pregătit pentru secționare și construcție. Acestea pot fi două operații separate sau secționarea poate fi făcută în timpul construcției. Ultimul dintre parametrii, grosimea secțiunilor, este introdus în sistem în vederea construcției.

Construcția, ridică o serie de probleme, iar modul de soluționare a acestora individualizează fiecare proces, astfel:

- ce material și sub ce formă va fi folosit;
- cum va fi sprijinit modelul în timpul construcției lui;
- cum va fi adăugat un nou strat;
- cum se va lipi noul strat de cel precedent;
- cum se vor marca contururile pentru fiecare secțiune;
- cum se va marca aria dintre conturul exterior și interior al unei secțiuni.

Curățirea și finisarea sunt operații în cadrul cărora se elimină suporti folosiți la construcție, materialul în exces sau alte operații de prelucrare (inclusiv mecanică) prin care se urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale și a calității suprafețelor.

Utilizarea RP a început cu folosirea lor în producția de modele pentru dezvoltarea sau modernizarea de produse. Se poate înlocui astfel procesul de fabricare a modelelor care foloseau mașini și tehnologii convenționale, în general costisitoare și cu productivitate scăzută, cu aceste noi tehnologii capabile să producă modele sau prototipuri cu o precizie ridicată într-un timp foarte scurt. Astăzi ultimele generații de sisteme de fabricație rapidă a prototipurilor pot realiza direct piese funcționale fie metalice, fie din alte materiale.

Dezvoltarea și creșterea economică sunt factorii care au condus la extinderea utilizării în producție a sistemelor RP, în special după 1994. Creșterea puternică a pieței acestor sisteme în S.U.A. (48,9% din sistemele instalate în lume), Japonia (18,2%) și Europa este o consecință a următoarelor elemente fundamentale:

A. Îmbunătățirea performanțelor tehnice.

Sistemele actuale de fabricație rapidă a prototipurilor, care la începutul anilor '90 erau în faza de experimentare, au devenit astăzi disponibile pentru utilizatori. Creșterea numărului de sisteme RP la mai mulți utilizatori, a determinat și

determină un număr sporit de concluzii rezultate din exploatare și folosite de producători pentru îmbunătățirea propriilor produse și tehnologii.

Inițial sistemele RP necesitau un personal cu înaltă calificare care să înțeleagă și să regleze un număr mare de parametrii ce caracterizează funcționarea acestor sisteme și tehnologii, astăzi mulți dintre acești parametrii și reglări sunt simplificați și standardizați, făcând operarea sistemelor mai ușoară și de către un personal cu o calificare mai redusă. Partea de software și hardware utilizată este mai eficientă, mult mai rapidă decât în urmă cu doar câțiva ani, reducând semnificativ inconvenientul etapei de pregătire a datelor pentru procesele RP. În prezent se apreciază că tehnica de calcul crește în performanță cu un factor de peste 3 la fiecare doi ani. Din punct de vedere mecanic, sistemele RP sunt mult mai robuste, mai fiabile și mai ușor de întreținut. S-au îmbunătățit și se îmbunătățesc permanent precizia dimensională, calitatea suprafețelor, viteza de depunere. Dacă în 1990 se putea depune circa $16 \text{ cm}^3/\text{oră}$, azi s-a ajuns la viteze de depunere de $1000 \text{ cm}^3/\text{oră}$.

B. Probleme de organizare și exploatare.

Sistemele RP odată achiziționate sunt introduse într-o companie în ateliere și birouri-service care asigură modele și prototipuri pentru alte sectoare ale unei companii. Primele sisteme RP au fost instalate în laboratoare pentru cercetare-dezvoltare și folosite în cea mai mare măsură pentru cercetări experimentale și demonstrații. Sistemele RP de astăzi necesită mai puține cunoștințe tehnice, de exploatare și de întreținere, fiind folosite nu numai pentru modele ci și chiar pentru piese funcționale sau ca elemente pentru fabricarea unor SDV-uri.

C. Procese și tehnologii complementare.

Cele mai mari succese ale utilizărilor sistemelor RP sunt identificate în procesele și tehnologiile care justifică investiția lor în aceste sisteme. Sistemele RP sunt prevăzute ca bază a unor noi tehnologii care să le permită să funcționeze mai eficient, mai performant comparativ cu o perioadă trecută. De exemplu sistemele RP dau posibilitatea utilizatorilor să producă SDV-urile necesare mult mai rapid și mult mai ieftin. Folosind una din multele metode RP, cum ar fi QuickCast a firmei 3D Systems, diverșii utilizatori pot produce modele pentru turnarea metalelor în timpi incomparabili mai mici și la prețuri mai reduse. Utilizarea sistemelor de digitizare 3D face posibilă scanarea de forme complexe, de schimbări ale modelului folosind sistemul CAD după care să se genereze un fișier STL pentru un nou model RP. [3DS 07]

D. Modelarea solidă CAD.

Programele de modelare solidă se comercializează cu o rată record în lume. Diversele companii folosesc Pro/Engineer, Unigraphics, I-DEAS, CATIA, AutoCAD, SolidWorks și alte produse pentru modelarea solidă în proiectarea de piese mecanice, modelarea asamblării, analiză cu element finit, generarea de programe NC pentru mașinile unelte cu comandă numerică. Sistemele RP devin un important factor de motivare pentru companiile care produc sisteme de modelare solidă. Dezvoltarea generală a programelor a determinat multe companii să facă saltul de la desenul tehnic pe planșetă la desenul tehnic pe calculator, în ideea de a folosi pe deplin avantajul sistemelor CAD în etapele de proiectare și prelucrare a unui produs [BAR 06].

Se cunoaște faptul că circa 78-80% din costul prelucrării unui produs este determinat și fixat în perioada de proiectare că numai circa 5% din bugetul pentru

un produs nou este cheltuit pentru proiectarea și elaborarea documentației tehnologice. Cu toate acestea multe societăți continuă să folosească sistemele CAD pentru a reduce acel 5%, în loc să folosească sistemele CAD să le ajute să ia decizii mai bune cu privire la cele 70-80%.

Disponibilitatea sistemelor RP, corelată cu îmbunătățirea raportului preț-performanță a modelării solide, determină societățile să-și regândească strategia lor în utilizarea programelor CAD. Parte importantă a problemei este dorința pentru o mai bună interfață pentru utilizator, având în vedere că un sistem CAD este o mașină foarte complexă. Pentru mulți tehnicieni, modelarea solidă rămâne obstacolul numărul unu în acceptarea și creșterea numărului de sisteme RP. Desigur producătorii de sisteme RP înțeleg că piața acestor sisteme nu crește așa repede ca piața pentru programele de modelare solidă. De aceea la început, producătorii de sisteme RP și cei de programe pentru modelare solidă trebuie să se considere parteneri strategici.

Cu privire la creșterea performanțelor este de așteptat ca raportul preț-performanță să se îmbunătățească, dar nu atât de spectaculos cât a fost el în anii precedenți. Proprietățile fizice și mecanice ale materialelor utilizate au cunoscut îmbunătățiri semnificative, precizia s-a îmbunătățit de la $\pm 0,25$ la $\pm 0,075$ mm. Cele mai importante îmbunătățiri au fost și vor fi însă în cadrul sistemelor de programe pentru RP, sisteme mai ușor de utilizat și mai inteligente. Rezultatul este o reducere a timpului de lucru, o îmbunătățire a calității suprafețelor prelucrate și în final o reducere a costului pieselor realizate prin aceste tehnologii. Astfel, dacă în 1992 o piesă costa 15 unități de preț, azi aceeași piesă costă 2 unități.

E. Perspectiva dezvoltării sistemelor de prototipare rapidă

Extinderea sistemelor de fabricație rapidă a prototipurilor este justificată de cel puțin trei diferite utilizări ale produselor acestor tehnologii și anume:

1.1.2. Realizarea unei proiectări optime utilizând modelele RP

În faza de proiectare a unui nou produs sau de modernizare a unui existent, modelele RP pot fi folosite cu succes în vizualizarea fizică a produsului, în îmbunătățirea comunicării dintre producător și beneficiar sau chiar între diversele colective ale aceleiași societăți implicate în realizarea produsului.

Prin câteva exemple se va ilustra rolul modelelor RP în diferite situații:

A. Luarea deciziei în promovarea internă a produsului.

Este cunoscut faptul că fiecare colectiv ce lucrează la dezvoltarea unui nou produs caută să-și atragă resurse și un suport din partea factorilor de decizie. Colectivul de dezvoltare dorește să convingă factorii de decizie că ei dezvoltă un produs corect și că oferă suficiente informații celor care vor decide cu privire la oprirea sau continuarea proiectului respectiv. Factorul de comunicare este foarte important. El salvează timp și evită neînțelegeri când colectivul respectiv prezintă o copie a proiectului final. Această prezentare poate fi făcută sub forma unui număr de desene, care uneori pentru cei care vor decide sunt greu de înțeles, sau sub forma unui model fizic al produsului care este mai ușor de înțeles și constituie o bază mult mai bună pentru luarea unei decizii corecte.

B. Vânzarea și promovarea externă.

Multe produse sunt vândute cu mult înainte ca producția să înceapă. Astfel de produse sunt produse complexe și de serie mică. Beneficiarul va dori să cunoască totul despre noul produs, o prezentare completă a sa, lucru care poate fi foarte bine realizat utilizând modelele RP, chiar uneori din punct de vedere funcțional. După o astfel de consultare și acceptare de produs, producătorul poate începe pregătirea fabricației, convins fiind că produsul pe care-l va realiza va fi vândut.

C. Modele și machete pentru susținerea unei propuneri de produs

În cele mai multe cazuri propunerile pentru un nou produs sunt studiate și analizate utilizând desene. În multe situații, chiar pentru un ochi format este dificil să evalueze produsul după un desen sau chiar după un model virtual al acestuia prezentat pe ecranul unui monitor. Un model fizic realizat dintr-un anumit material este mult mai convingător, mai ales dacă el este folosit chiar în mediul în care el va funcționa (de exemplu: o lampă de birou, etc.).

O utilizare foarte eficientă a modelelor RP este în realizarea de machete (prototipuri), în special în industria de automobile sau în arhitectură. Întreaga machetă (sau prototip) este construită piesă cu piesă, după care este folosită pentru un studiu al formei, proiectării, asamblării, spațiului solicitat și chiar al funcționării.

D. Evaluarea proiectării produsului nou.

Este foarte dificil să realizezi o evaluare în avans a unui nou produs numai analizându-l după niște desene. O evaluare corectă echivalează cu garanția că în etapa de proiectare au fost făcute toate corecțiile produsului înainte ca acesta să intre în fabricație. Coșmarul fiecărui producător este să descopere erori de proiectare cu câteva zile înaintea momentului lansării în fabricație. Aceasta ar putea conduce la noi SDV-uri și implicit la o amânare a începerii fabricației. Soluția este să construiești modele imediat ce proiectarea este finalizată, să analizezi modelul, să aduci corecțiile necesare proiectului înainte ca pregătirea fabricației să înceapă.

1.1.3. Teste fizice bazate pe modele RP.

Modelele RP pot fi utilizate pentru diverse moduri de testare, dintre care cele mai implementate sunt: teste funcționale; teste de simulare; teste de control; teste de fabricație; teste de fixare și asamblare; teste de ambalare. Cele mai multe teste trebuie să conducă la: acceptarea vizuală a produsului; înțelegerea construcției și a funcționalității; definitivarea elementelor de dimensionare. Iar testarea unui produs depinde de trei factori: material; dimensiune; proiectare. Testele realizate direct pe modelele RP sunt foarte dependente de materialele utilizate în prezent de aceste tehnologii. În consecință, materialul pentru model și procedeul utilizat trebuie alese în funcție de scopul urmărit în cadrul testului. Dimensiunea modelului este condiționată de obicei de posibilitățile sistemelor RP și, în general, nu trebuie să aibă grosimi de pereți mai mici de 0,2 mm care este diametrul mediu al razei laser sau grosimea posibilă pentru un fir de ABS. Se recomandă grosimi de pereți de peste 1,5-3 mm care dau o rigiditate suficientă în timpul prelucrării și testării. Proiectarea modelului și orientarea lui în timpul fabricației este foarte importantă pentru procesul de solidificare sau construcție. Contractiile și deformațiile care pot să apară în timpul construcției sau după, depind și de modul în care piesa a fost proiectată și orientată.

1.1.4. Fabricarea mai rapidă, mai bună și mai ieftină folosind modele RP.

Tehnologiile RP au devenit deja benefice în obținerea unor produse mai bune, fabricate mai repede și mai ieftin chiar decât previziunile. Astăzi, timpul este un factor crucial în dezvoltarea unui produs. El este decisiv în lansarea produsului și pentru recuperarea investiției, influențând volumul vânzărilor și implicit pe cel al profitului.

Cine va dori să reducă timpul pentru lansarea și fabricarea unui nou produs va trebui să renunțe la o serie de practici depășite și să apeleze la altele noi așa cum sunt următoarele:

A. Schimbări și corecții numai în primele etape de dezvoltare ale unui nou produs.

Când se adoptă o dezvoltare rapidă pentru un produs, toate schimbările necesare trebuie făcute în timpul conceperii și definitivării produsului, cât mai devreme posibil. Până la un anumit timp, schimbările vor avea un efect minim în costul prelucrării, aspect evidențiat în figura 1.1. Punctul de intersecție al celor două curbe indică punctul de unde cheltuielile cu schimbarea sunt mai mari decât câștigurile în costul prelucrării. Începând din acest punct eventualele schimbări trebuie să fie reținute și incluse în primul produs revizuit și modernizat. Astfel de situații pot fi evitate prin utilizarea sistemelor CAD și a modelelor RP încă din primele etape de dezvoltare a unui nou produs [BER 00].

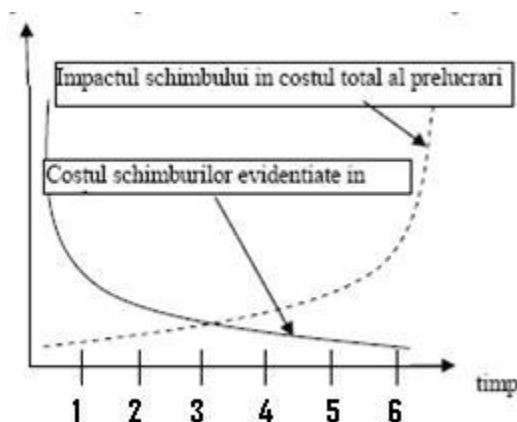


Fig.1.1.

- 1- idea
- 2- concepția
- 3- definitivare
- 4- elaborare documentatie
- 5- realizarea SDV-uri
- 6- productie

B. Folosirea unor eforturi sporite în faza de concepție și dezvoltare.

Este foarte important să dispui de foarte bune și complete informații pentru a lua decizii cât mai de timpuriu posibil în dezvoltarea unui nou produs.

Calitatea deciziei este în corespondență directă cu nivelul și calitatea informației care au stat la baza deciziei. Figura 1.2. prezintă grafic relațiile cost - timp generate de o dezvoltare rapidă. Oricum efectul este readucerea timpului până la lansarea pe piața, proporțional cu reducerea timpului pentru dezvoltare și omologare. [BER 00]

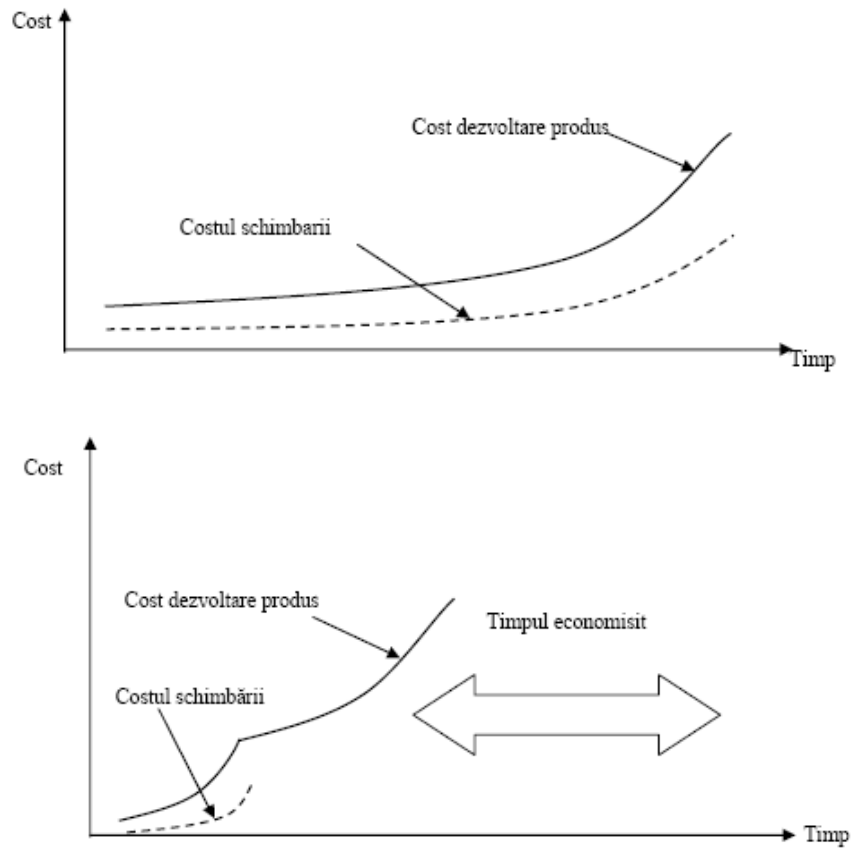


Fig. 1.2. Reducerea timpului prin dezvoltare rapidă a produsului

C. Folosirea tehnicilor CAD/CAM.

Este vital să fie îmbunătățită comunicarea dintre toți factorii implicați în dezvoltarea noului produs într-o fază timpurie a dezvoltării lui. Fabricație rapidă a prototipurilor sunt și pot fi folosite cu succes, lucru confirmat de foarte multe companii care au folosit și folosesc tehnologiile RP [NLR 07].

Tehnologiile de fabricație rapidă a prototipurilor sunt diverse prin modelele lor de operare și au propriile lor performanțe și limite. **Fiecare tehnologie se recomandă pentru propria arie de utilizare.** Fiecare sistem se luptă cu propriile limite (precizie, calitate, productivitate) pe care încearcă să le îmbunătățească peste un nivel actual. Utilizarea optimă a tehnologiilor RP este realizată atunci când proiectanții folosesc pe deplin aceste tehnologii pentru verificarea formei, a modului de fixare și funcționare. În acest fel va fi posibil să se testeze și să se evalueze complet diferite idei înainte să fie definitivat produsul, rezultând astfel produse înalt integrate și care să întrunească toate solicitările beneficiarului. De asemenea, aceste tehnologii vor permite tehnologiilor să reducă considerabil timpii de asimilare a unor produse, realizarea de noi SDV-uri la costuri incomparabil mai reduse decât prin tehnologiile clasice. Ca răspuns la aceste provocări, industria și lumea academică au

inventat un spectru de tehnologii care ajută la dezvoltarea unor noi produse și lărgirea numărului alternativelor de produs. Exemplele pentru aceste tehnologii includ designul pe baza caracteristicilor, design pentru analiza de fabricare, simularea, prototiparea pe computer, precum cea virtuală și fizică. Majoritatea designerilor sunt de acord că „a exista fizic rapid” este critic pentru explorarea conceptelor noi de design. Cu cât designerii experimentează mai repede noile produse, cu atât mai repede câștigă inspirație pentru viitoarele schimbări de design. Ideea-cheie a acestui tip rapid de tehnologie de prototipare se bazează pe descompunerea modelelor computerizate 3D în straturi secționare subțire transversal, urmată de formarea fizică a straturilor și așezarea lor unul peste altul „strat cu strat”.

Crearea obiectelor în 3D în mod stratificat este o idee aproape la fel de veche ca și civilizația umană. Construcțiile vechi, cum ar fi piramidele egiptene, au fost în mod probabil construite bloc cu bloc, strat cu strat. Așezarea unul peste altul a straturilor materialelor formate individual are de asemenea o lungă tradiție într-o serie de aplicații de fabricare, cum ar fi dispunerea benzilor sau topirea în forme.

În urma cu puțin mai mult de un deceniu, arta construirii obiectelor în 3D pe straturi a fost semnificativ avansată de 3D Systems Inc, o companie americană din sudul Californiei. Disponibilitatea modelelor computerizate în 3D a fost crucială pentru gândirea conceptului creării obiectului pe straturi, dar alte tehnologii, cum ar fi sistemele de laser accesibile, materialele și computerele puternice au ajutat la diseminarea acestei tehnologii, numite stereolitografie. Această tehnologie este astăzi capabilă să producă geometrii 3D foarte complexe cu puțină intervenție din partea omului, sau chiar deloc. Aproape în paralel cu dezvoltarea stereolitografiei au apărut sistemele alternative de fabricarea pe straturi, oferite de o varietate de companii americane. Sunt incluse sisteme care construiesc obiecte stratificate prin laminarea materialelor în formă de placă (Helisys) și prin fuziunea sau legarea articolelor sub forma de pudră (DTM, Soligen) sau forțarea cablurilor prin orificii subțiri (Stratasys). Aceste procedee au adăugat o serie de noi materiale care le depășesc pe cele ale polimerilor foto-curabili așa cum sunt folosiți în stereolitografie [RAV 00].

Astăzi, beneficiile-cheie ale fabricării pe straturi sunt în cea mai mare parte derivate din abilitatea de a crea rapid modele fizice, neținând seama de complexitatea formei. De asemenea, modelele construite cu ajutorul procedeelelor fabricării pe straturi sunt valoroase în timpul procesului de stabilire al uneltelor pentru dispunerea în matriță.

Pentru a avansa capacitatea Statelor Unite în tehnologia SFF (SFF = „solid freeform fabrication”), guvernul american și industria au inițiat o serie de proiecte de cercetare. Scopul principal al acestor eforturi este mai degrabă fabricarea „componentelor funcționale” decât „contactul și simțul” părților pe care majoritatea tehnologiilor SFF de azi o produc. Urmărind drumul deschis de Statele Unite, Europa și Japonia au identificat și ele fabricarea pe straturi ca tehnologie-cheie. Un număr de programe au fost începute în această zonă. De exemplu, în Germania, Fraunhofer Gesellschaft, o organizație non-profit de cercetare, cu peste 40 de laboratoare susținute de guvern și industrie, a preluat conducerea în stabilirea centrelor de cercetare a prototipării rapide la nivel național [WTE 08].

Rezultatele arată că inovația și coordonarea au dus la un transfer reușit al tehnologiei SFF în industriile europene. Similar, eforturile de coordonare ale Ministerului japonez de Comerț Internațional și Industrie (MITI) au inspirat numeroase cercetări și programe de dezvoltare în laboratoarele industriale ale Japoniei și mai recent în cadrul cercetărilor universitare. În Europa și Japonia,

infrastructura educațională și mediul computerizat au fost recunoscute ca factori cheie în lărgirea sferei de folosire a RP în industrie. Japonia a lansat un program de cercetare și dezvoltare numit CALS (Comerțul la viteza luminii) cu o finanțare ce depășea 300 milioane \$ în 1996 pentru a îmbunătăți semnificativ designul și infrastructura de fabricare pe o gamă largă de dimensiuni, cu o anumită accentuare pe uneltele computerizate de design și fabricare. Se așteaptă ca acest program să crească în următorii ani.

În timp ce Statele Unite încă conduc în majoritatea aspectelor de prototipare rapidă, Europa și Japonia recuperează repede. E foarte probabil ca inovațiile tehnice din următorii ani să domine acest domeniu pentru mai mult de un deceniu. Combinarea programelor guvernamentale cu antreprenoriatul industrial vor determina cine va conduce acest domeniu pe viitor.

1.2. Prelucrarea CNC sau Prototiparea Rapidă.

Principala competiție pentru sistemele de prototipare rapidă bazate pe SFF este prelucrarea CNC (prin controlul numeric), folosită mai ales în fabricile care fac modele mici. În comparație cu procedeele SFF curente, prelucrarea CNC poate produce piese cu o acuratețe superioară și finisare a suprafeței și având o gamă mult mai largă de materiale, în special oțeluri pentru scule [MAS 06].

Mai mult, dacă sunt disponibile numai desenele 2D, atunci prelucrarea CNC după un fabricant de modele poate fi deseori executată mult mai repede decât timpul care îl necesită crearea mai întâi a modelului 3D cerut pentru procesarea SFF. Așadar, prelucrarea rămâne în mod strategic importantă pentru industrie și în Europa și în Japonia, în parte datorită propagării relativ lente a CAD 3D în ambele zone.

Există temeri în ceea ce privește incapacitatea procedeelelor SFF curente:

- de a produce piese cu finisarea suprafeței și acuratețea cerute pentru multe modele de inginerie;
- de a construi cu o varietate largă de materiale de inginerie;
- de a produce direct piese de metal de bună calitate pentru cereri de utilaje de producție.

Prelucrările CNC complet automatizate ar avea un impact semnificativ asupra prototipării rapide. Totuși, sistemele CNC curente nu sunt în general considerate a fi tehnologii SFF din următoarele motive:

- ele încă au nevoie de intervenția umană abilă pentru a ajuta la planificarea operațiunilor și pentru a lucra cu echipamentele;
- se cere deseori pregătirea individualizată;
- se cere modelarea specială;
- se cere prelucrarea are limitări geometrice inerente (Figura 1.3).

Cu toate acestea, la fel cum este așteptată îmbunătățirea capacităților de funcționare a procedeelelor SFF, și capacitățile de planificare a CNC automate se așteaptă să continue să se perfecționeze cu creșterea sistemelor de modelare 2D CAD. Pe viitor, atât CNC cât și SFF vor rămâne tehnologii importante pentru nevoile de RP.

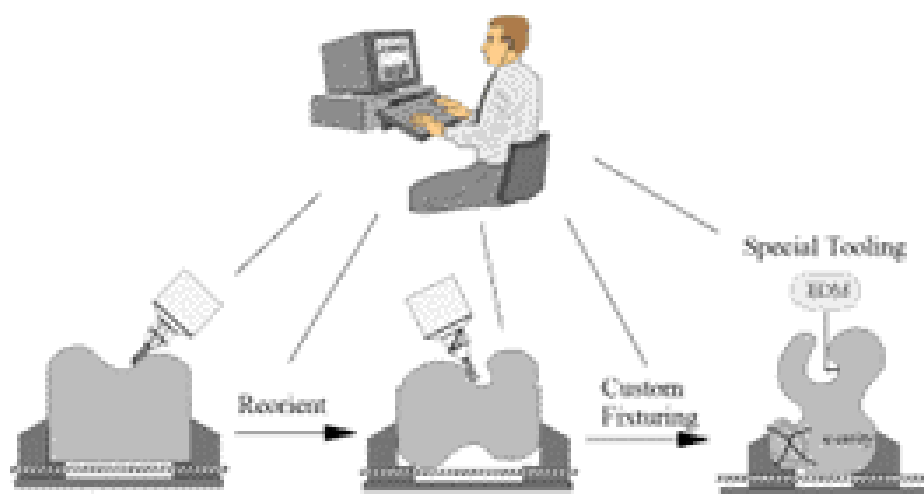


Figura 1.3. De ce nu este prelucrarea CNC un procedeu SFF [WTE 08]

1.2.1. Procedeele de îndepărtare al materialului

În timp ce îmbunătățirea capacităților sistemelor de planificare a CNC automate este importantă, există de asemenea o nevoie de îmbunătățire și a procedeele de prelucrare. Există o muncă interesantă atât în Germania cât și în Japonia în procedeele de îndepărtare al materialului și al prelucrării.

Sectorul principal de aplicație pentru aceste procedee stă în fabricarea uneltelor rapide. Fabricarea cu utilaje elimină anumite constrângeri geometrice; de exemplu, caracteristicile subtăierii nu sunt în mod normal cerute. Gravarea cu laser, proces folosit de LCTec, Inc. (Germania), este rafinat de Bavarian Laser Centre (BLZ). Este un procedeu de îndepărtare al materialului folosit pentru a grava metalul sau ceramica, în jos, strat cu strat. Un laser foarte puternic și o sursă de oxigen sunt direcționate simultan spre suprafața ce trebuie tăiată și curățată în urma gravării. Metalul încălzit se oxidează și așchiile oxidate se desprind datorită expansiunii termice diferite dintre materialul neoxidat și fragmentul de oxid (figura. 1.4.).

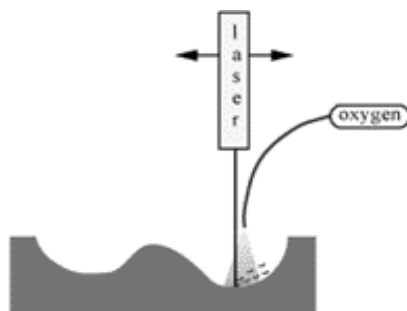


Figura 1.4. Gravarea cu laser [WTE 08]

Sistemul include o mașină verticală de frezare CNC cu 5 axe și un laser cu 750 W CO₂. Acuratețea pretinsă este de 0.05 mm, și eficiența îndepărtării

materialului este de $5 \text{ mm}^3/\text{min}$. Timpii prelucrării complete pot fi reduși de către primul material șlefuit la o rată mai mare folosind laserul la modul de topire care îndepărtează materialul la o eficiență de $1,000 \text{ mm}^3/\text{min}$. Rugozitatea suprafeței este de aproximativ $5 \mu\text{m}$. Aplicațiile primare pe care BLZ le explorează sunt tăierea scobiturilor pe unelte și croirea texturii pe suprafețe.

Echipa JTEC/WTEC a analizat exemple de matrițe de metal și tipare cu texturi asemănătoare pielei; calitatea suprafeței lor era excelentă. Aceste suprafețe trebuie să fie ca și sticla granulată pentru a îndepărta oxidarea; dacă nu, nici un procedeu suplimentar nu e necesar.

Gravarea cu laser poate fi o metoda solidă pentru a construi și a imprima sculelor detalii fine și caracteristici minuscule. În Japonia, Prof. Nakagawa de la Universitatea din Tokyo are vaste cercetări avangardiste despre folosirea prelucrării la viteze mari, de exemplu, viteze de ax ce ating $\sim 100,000 \text{ rpm}$. El este interesat în mod deosebit de folosirea prelucrării la viteze mari în fabricarea utilajelor rapide.

1.2.2. Procedee ce combină adăugarea și îndepărtarea materialului.

Se fac eforturi pentru a se investiga combinarea beneficiilor procedeelor prin adăugare de material (mai ales pentru ca acestea simplifică planificarea) cu beneficiile procedeelor de îndepărtare a materialului (a căror acuratețe și finisare de suprafață sunt superioare). Prima zonă de aplicație a fost cea pentru prelucrarea cu utilaje.

The Fraunhofer IPT a dezvoltat un sistem experimental, numit „RP Generat cu Laser”, care folosește sudarea cu laser pentru a topi pudra metalică în timp ce se scurge printr-un con coaxial de distribuție a laserului / pudrei. (figura 1.5a). Alte conuri concentrice din investigare eliberează gaze și fluide pentru răcire. Sistemul folosește fie un laser 900 W CO_2 , fie un laser $1,000 \text{ W Nd: YAG}$. Înăuntrul camerei de lucru este o mașina de frezat în $2\frac{1}{2}$ axe care finisează pereții pieselor metalice și îmbunătățește toleranțele. Reprezentanții IPT pretind ca aceasta unitate produce piese cu o densitate complexă, dar n-au dezvăluit strategiile de sedimentare și tăiere celor de la JTEC/WTEC. Au arătat echipei atât peretele subțire cât și piesele solide de oțel produs cu această unitate experimentală. IPT plănuiește să dezvolte comercial acest sistem cu o companie de mașini de turnat matrițe în următorii ani. Cu finanțare însemnată din partea partenerului său comercial, șansele ca această tehnică să fie comercializată sunt promițătoare.

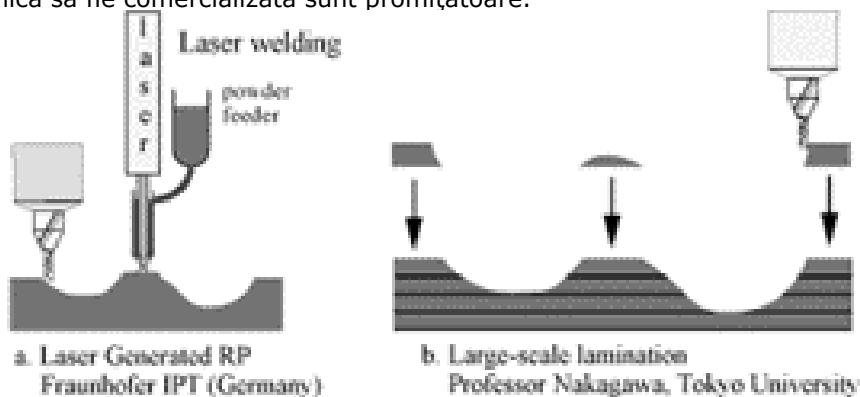


Figura 1.5. Combinarea adăugării de material cu înlăturarea de material. [WTE 08]

Secțiunilor individuale de material li se dă o formă cu tăierea CNC și apoi cu așezarea lor una deasupra alteia se formează utilajul (Figura 1.5b). Cu toate acestea nici metoda de înregistrare nici procedeul de îmbinare nu au fost dezvoltate. Se pare că procedeele de adăugare/înlăturare descrise mai sus nu încorporează structuri de suport. Universitățile Carnegie Mellon și Stanford dezvoltă procedee de adăugare/înlăturare, numite Prelucrarea Depunerii în Formă (SDM), care încorporează structuri de suport. În SDM, un model CAD este prima dată feliat în structuri 3D stratificate (adică, suprafața din exterior a fiecărui strat păstrează geometria 3D a modelului original). Segmentele de strat sunt apoi depozitate ca forme aproape nete și apoi prelucrate până devin nete înainte ca materialul adițional să fie depus (Figura 1.6.).

Ordinea pentru depunerea și modelarea materialelor primare și de suport depinde de geometria locală; ideea este de a descompune formele în segmente de straturi astfel încât caracteristicile tăiate să nu trebuiască să fie prelucrate, dar se formează din segmentele modelate mai înainte.

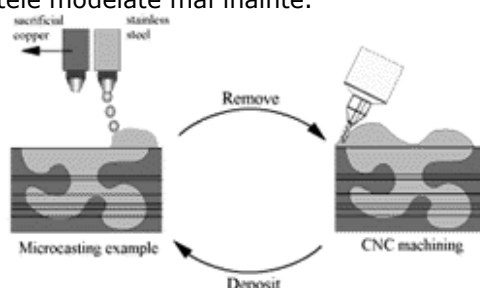


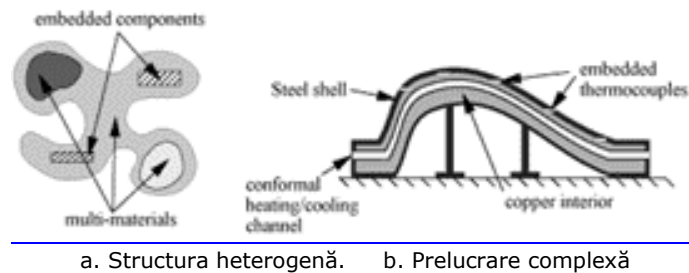
Figura 1.6. Prelucrarea depunerii în matriță. [WTE 08]

SDM poate folosi surse alternative de depunere. Ca un exemplu, microcastingul (cast = turnarea oțelului) este un procedeu de sudură care depozitează picături mici de metal topit, supraîncălzite, pentru a construi structuri complete și lipite. De exemplu, oțelul inoxidabil poate fi depus ca material primar și cuprul ca material de sacrificiu. Alte tipuri de procedee de depunere care sunt investigate includ sudura cu laserul, extruderea (expulzarea), și amestecul a 2 piese de epoxizi.

Cel mai bun procedeu RP depinde de aplicație și este o funcție a câtorva factori și constrângeri, incluzând costurile, viteza de construire, acuratețea, mediul de operare (de exemplu: birou vs. podeaua magaziei), tipul și proprietățile materialelor.

În timp ce procedeele SFF vor continua să evolueze, se pare că și procedeele îmbunătățite de prelucrare și planificarea CNC automate vor continua de asemenea să joace roluri importante în prototipare rapidă. Până în prezent, cel mai răspândit și recunoscut avantaj al metodologiei prelucrării pe straturi este ușurința relativă a planificării automate și executarea prelucrării formelor geometrice complexe. Totuși, construirea formelor folosind material selectiv de depunere și/sau procedee de fuziune ar putea avea un avantaj secund, mai greu de atins: va fi de asemenea posibilă crearea structurilor heterogene, cum arată Figura 1.7.a.

O structura heterogenă ar putea include regiuni multimateriale și/sau dispozitive prefabricate încorporate în forme ce se cresc și suprafețe cu texturi microgeometrice. Aceste tipuri de design n-ar fi practice, ar fi poate chiar imposibile de fabricat cu tehnicile convenționale.



a. Structura heterogenă. b. Prelucrare complexă

Figura 1.7. Pe viitor, SFF va face posibile desene mai complexe [WTE 08]

În timp ce această folosire a SFF este investigată în Statele Unite, comisia de la JTEC/WTEC n-a văzut nici o dovadă ca japonezii sau germanii ar fi exploatat aceste posibilități.

Un exemplu de structura heterogenă este utilajul de formare din Figura 1.7b. Acest utilaj ar include un canal de încălzire/răcire, modelat, alcătuit din material de sacrificiu. Interiorul utilajului ar fi făcut din cupru pentru o încălzire sau răcire rapidă și uniformă; carcasa exterioară ar fi alcătuită din oțel pentru rezistență. Masa termică i-ar fi redusă de o geometrie ce reduce volumul utilajului. Tablourile termocuplurilor încorporate ar permite monitorizarea temperaturii suprafeței utilajului pentru controlarea procesului.

Statele Unite par a fi în topul inovațiilor tehnologice de tip SFF, în timp ce Japonia și Europa se concentrează pe îmbunătățirea procedeeleor. Totuși, aceste chestiuni sunt subiectele unor polemici aprinse.

1.3. Tendințe actuale și politici de dezvoltare în domeniul fabricației rapide a prototipurilor – RP.

1.3.1. Brevete în aplicare (active)

În domeniul prototipării rapide există cele mai numeroase brevete active care acoperă procedeele comerciale existente. Tabelul 1.1 arată cele mai importante brevete în domeniu iar în tabelul 1.2. și 1.3 dezvoltarea comercială a sistemelor RP în SUA [WTE 06].

Brevete active pentru prototipare rapidă

Tabelul 1.1.

Nume	Titlu	Realizat	Țara
Housholder	Procedeu de modelare	Dec 1979	SUA
Murutani	Metoda de modelare optica	Mai 1984	Japonia
Masters	Procedeu si sistem de prelucrare automata pe computer	Iulie 1984	SUA
Andre et al	Aparat de creare al unui model	Iulie 1984	Franța

1.2 – Prelucrarea CNC sau Prototiparea Rapidă 23

	pentru o piesa industrială		
Hull	Aparat de creare a obiectelor tridimensionale cu ajutorul stereolitografiei	August 1984	SUA
Pomerantz et al	Aparat de cartografiere și modelare	Iunie 1986	Israel
Feygin	Aparat și metoda de formare a unui obiect integral din laminari	Iunie 1986	SUA
Deckard	Metoda și aparat pentru producerea pieselor prin sinterizare selectivă	Octombrie 1986	SUA
Fudim	Metoda și aparat pentru producerea obiectelor tridimensionale prin fotosolidificare, radiații și fotopolimeri netratați	Februarie 1987	SUA
Arcella et al	Turnarea în forme	Martie 1987	SUA
Crump	Aparat și metoda pentru crearea obiectelor tridimensionale	Oct 1989	SUA
Helsinki	Metode și mijloace de construire ale articolelor tridimensionale prin depunerea particulelor	Noiembrie 1989	SUA
Marcus	Depunere de gaze selective : tridimensional, controlat pe computer	Decembrie 1989	SUA
Sachs et al	Imprimare tridimensională	Decembrie 1989	SUA
Levent et al	Metoda și aparat pentru fabricarea articolelor tridimensionale prin dispunere cu pulverizare termală	Decembrie 1990	SUA
Penn	Sistem, metoda și proces pentru crearea obiectelor tridimensionale	Iunie 1992	SUA

Dezvoltarea comercială a sistemelor de RP în SUA Tabelul 1.2.

Companie	Proces	Începutul studiilor	Exportare	Observații
Aaroflex	Stereolitografiere	1995	n/a	Licenta de la Du Pont
BPM	Jet de cerneala	1989	1995	
DTM	Sinterizare selectivă cu laserul	1987	1992	A acționat ca birou de service din 1990-93

DuPont Somos	Stereolitografiere	1987	n/a	Brevetat lui Teijin Seiki 1991, Aaroflex 1995
Helysis	Obiect laminat	1985	1991	Fondat ca Hydronetics
Light Sculpting	Photomasking	1986	n/a	Actioneaza ca birou de service
Quadrax	Stereolitografiere	1990	1990	Tehnologie obtinuta de 3D in 1992
Sanders Prototyping	Jet de cerneala	1994	1994	Partial dezvoltat la E-Systems
Soligen	Imprimare 3D	1991	1993	Actioneaza ca birou de service
Stratasys	Depundere prin lichefiere	1988	1991	
3D Systems	Stereolitografiere	1986	1988	Primul transport comercial de echipament

Tabelul 1.3 arată cronologia pentru dezvoltarea comercială a proceselor de prototipare rapidă în Europa și Japonia [WTE 06].

Cum se poate vedea din compararea acestor tabele, Statele Unite au fost lideri în comercializarea noilor echipamente de prototipare rapidă. Se poate vedea că în Statele Unite sunt multe și diferite tipuri de tehnologie, în timp ce în Japonia, cu excepția KIREI, toți vânzătorii niponi folosesc tehnicile laserului cu fotopolimeri. În prezent, în SUA, doar o singură companie de laser cu fotopolimeri exportă echipament: 3D Systems.

Dezvoltarea comercială a sistemelor RP în Europa și Japonia Tabelul 1.3.

Companie	Proces	Începutul speculațiilor	Exportare	Note
CMET	Stereolitografiere	1988, Japonia	1990	
Cubital	Photomasking	1987, Israel	1991	
Denken	Stereolitografiere	1985, Japonia	1993	
DMEC	Stereolitografiere	1990, Japonia	1990	
EOS	Stereolitografiere, sinterizare selectiva cu laserul	1989, Germania	1990	
Fokele & Schwarze	Stereolitografiere	1991, Germania	1994	Birou de service din 1992
Kira	Obiect laminat	1992, Japonia	1994	
Meiko	Stereolitografiere	1991, Japonia	1994	
Mitsui	Stereolitografiere	1991, Japonia	1991	
Sparx	Obiect laminat	Suedia	1994	Masina de spuma
Teijin	Stereolitografiere	1991, Japonia	1992	Licenta de la

Seiki				Du Pont
Ushio	Stereolitografiere	Japonia	1994	

Nevoile, scopurile și obiectivele generale pentru prototipare rapidă sunt în principiu aceleași în Europa și în Japonia, deși accentul se poate pune pe diferite aspecte. Într-o țară, diferențele de nevoi apar și între industrii și în interiorul lor. În Japonia, se tinde să se pună accentul pe acuratețe ca trăsătură predominantă, în timp ce în Europa există o mișcare de dezvoltare a tehnicilor de producere a componentelor de metal și a utilajelor. Ambele sunt interesate în construirea de prototipare rapidă (PR) pentru forme de plastic cu injecție pentru a produce câteva sute de piese prototip dintr-un tip de plastic specific obiectelor casnice.

În general, implementarea tehnicilor de prototipare rapidă a construirii pe straturi s-a dezvoltat mai încet în Europa și Japonia, decât în Statele Unite. Aceasta poate fi un rezultat al faptului că atât Europa cât și Japonia se bucură de o mai mare infrastructură a fabricanților specializați în unelte decât Statele Unite. De asemenea, industria americană tinde să îmbrățișeze mai degrabă tehnologiile bazate pe computer.

În comparație cu Statele Unite, Germania a fost mai înceată în adoptarea prototipării rapide în locul tehnicilor de prelucrare convenționale pentru ca multor companii nu li se părea necesară. Încă există în Germania multe ateliere mici care pot produce piese și unelte de calitate la preturi rezonabile într-un timp scurt. Atelierele de prelucrare din Germania sunt foarte competitive astfel încât proprietarii de ateliere sunt dispuși să lucreze foarte mult pentru a termina la termen.

Cu douăzeci de ani în urmă, în Japonia nu era ceva neobișnuit să discuți cu o companie despre un produs nou sau un design nou și a doua zi să ți se prezinte un prototip al produsului propus și care să încorporeze trăsături ce au apărut în discuția din ziua precedentă. Cu fabricanți de modele pricepuți și o cultură ce prețuiește dedicarea, companiile japoneze și-au bucurat de o binemeritata apreciere în acest domeniu. Aceste capacități încă există în Japonia, cu toate că forța de muncă e reprezentată de bătrâni pricepuți care încep să se retragă, și nu e înlocuită cu alți practicanți tineri. Acest lucru e evident atât în bijuterie cât și în afacerile de tipul topitoriilor, unde echipamentul RP este introdus în scopuri productive, să acopere lipsa lucrătorilor pricepuți. În alte cazuri decât acestea și în companiile specifice discutate în acest raport, nu s-a perceput o nevoie de aplicare a tehnicilor PR în Japonia, spre deosebire de Statele Unite.

Cu toate acestea, și companiile europene și japoneze folosesc prototipare rapidă, care sugerează că există o nevoie ce nu e împlinită de nici un meșteșugar. Dacă mobilul este prețul scăzut, livrarea mai rapidă sau curiozitatea de a evalua o nouă tehnologie, nu este clar. Cu siguranță însă, motivul nu e acuratețea dimensională, proprietățile materialelor sau finisarea suprafeței, pentru că toate aceste calități pot încă fi mai bine obținute cu ajutorul tehnicilor convenționale de prelucrare.

Modelarea solidă în 3D CAD

Elementul-cheie în folosirea eficientă a PR este aplicarea unui software de modelare solidă în 3D, având ca punct de început designul. Fără acest suport, transferul datelor de design poate fi laborios și poate consuma mult timp. Software-ul de modelare solidă în 3D se folosește mai puțin în Europa decât în SUA, și chiar și mai puțin în Japonia. Acest fapt se datorează parțial recesiunii pe care Japonia a

indurat-o în ultimii câțiva ani, și care a limitat cheltuirea capitalului în majoritatea companiilor.

Reprezentanții unui birou de servicii japonez au precizat ca 10% din marile companii japoneze posedă software-uri de modelare solidă în 3D CAD, și numai 1% știu cum să le folosească. Alții estimează că 3% din designerii japonezi pot folosi modelarea solidă în 3D. Surse oficiale de la un alt birou de servicii i-au spus comisiei ca 80% din clienții lor furnizează fișiere CAD, dar acestea sunt numai în 2D. În general, prototipurile pot fi făcute în Japonia mai repede, mai ieftin și mai exact de către atelierelor de prelucrare convențională dacă le sunt furnizate fișiere în 2D. Numai când piesele sunt mici, când au suprafețe complicate, și desenele modelate solid în 3D prototipurile pot fi construite mai rapid și mai puțin costisitor de către tehnicile PR.

Există un interes în Japonia pentru găsirea unor metode mai ușoare pentru designeri să construiască modele PR, fără să trebuiască să folosească complet software-ul de modelare solidă în 3D. De exemplu, Sony vrea să dezvolte un software CAD în 2D care ar fi mai ușor de folosit decât pachetele de modelare solidă, dar care ar putea produce modele PR în 3D cu un software de control.

Scopul Institutului Metropolitan de Tehnologie din Tokyo este de a dezvolta un sistem CAD ce permite designerului folosirea „unei abordări mai intuitive” pentru a modifica și a manipula modelul [PRI 96].

Echipamentul de Prototipare Rapidă

Pentru echipamentele de PR, nevoile principale, indiferent de țară, sunt costurile reduse pentru echipament, costurile reduse pentru întreținere, o mare acuratețe, o mai bună finisare a suprafeței și o viteză mai mare; totuși importanța acestor factori e relativ variabilă.

În timp ce noii fabricanți (producătorii) americani de echipament se concentrează asupra micșorării prețurilor, cum ar fi pentru unitățile PR de birou, dezvoltarea echipamentului la preț redus nu pare să fie o prioritate în Europa. Fabricanții europeni EOS se poziționează printre producătorii de echipament cei mai scumpi, și unitățile „Cubital” au fost tot timpul pe lista cu prețuri mari. În Japonia, echipamentul PR echivalent cu cel disponibil în Statele Unite e considerabil mai scump. În comparație, mașinăriile din aceeași clasă de mărime cu un PR sunt mai puțin scumpe decât unitățile de stereolitografiere. Totuși, ieftine, deși acuratețea este scăzută, unitățile sunt disponibile pentru industria bijuteriilor de la companii cum este „Meiko”, care produce o unitate de fotografiere pe baza de rășină cu un preț de ~140,000 \$, inclusiv software-ul. Pentru unii dintre producătorii japonezi de echipament, scăderea prețurilor echipamentelor devine un obiectiv. Reprezenții „D-MEC” au menționat prețurile ca fiind una din grijile clienților; în consecință, această companie japoneză plănuiește să dezvolte pe viitor mașini cu preț scăzut.

Pentru echipamentele RP cu laser, laserele însele pot constitui piesa cu costul cel mai ridicat de întreținere. Fockle și Schwarze a evaluat laserele cu diodă Nd cu frecvența pentru a înlocui laserele cu ion de argon care sunt mai scumpe de întreținut. EOS a oferit comercial aceste lasere cu dioda Nd pe unitățile de stereolitografiere cu laser STEREO MAX și a vândut câteva asemenea lasere clienților. Se așteaptă ca aceste lasere cu diodă Nd să aibă viața mai lungă, să fie mai ieftin de înlocuit și să consume mai puțin curent. În Japonia, contractele de întreținere par a fi comparabile la costuri cu cele din Statele Unite, dar rășina e mult mai scumpă. Îmbunătățirea acurateței și a finisării suprafeței sunt de multe ori considerații primare pentru cei ce folosesc echipamentul RP.

Întrucât mai multe companii încearcă să construiască prototipuri de forme de plastic cu PR, nevoia de o mai mare acuratețe și finisarea a suprafeței va crește, din moment ce apar câteva degradări ale dimensiunilor pieselor în procesul de turnare în formă. Reprezentanții de la „Daimler Benz” au indicat ca datorită stereolitografierii ei pot obține în mod obișnuit o acuratețe de 100 de microni în direcția x-y și 250 de microni în direcția z. Ei ar dori o acuratețe de 70 de microni în toate trei direcțiile. (Asemenea toleranțe sunt deja obținute în SUA).

Comisia JTEC/WTEC a discutat cu observatori ai industriei europene de PR, care au indicat că nu e întotdeauna clar care sunt nevoile de acuratețe ale utilizatorilor în prototipul unei piese; în unele cazuri, toleranțele dimensionale actuale sunt suficiente.

Stereolitografierea este metoda PR cea mai populară în Japonia. Când comisia a întrebat de ce unitățile de sinterizare selectivă cu laserul, nu sunt la fel de populare în Japonia ca și în Statele Unite, explicația oferită a fost că stereolitografierea oferă o acuratețe mai mare. În general, companiile japoneze ar dori să aibă capacități pentru o acuratețe mai mare acolo unde toleranțe de ± 0.03 mm pot fi în mod obișnuit obținute. Reprezentanții de la compania „Shonan Design”, un birou de servicii, au menționat comisiei că clienții lor își vor mari comenzile pentru piese PR pe măsură ce acuratețea și finisarea suprafeței se îmbunătățesc.

Viteza pare a fi o caracteristică importantă în Europa, după cum arată faptul ca BMW a semnat prima unitate de stereolitografere EOS bazată pe un standard de performanță de viteză. Producătorii de mașini „Daimler Benz” ar dori de asemenea să obțină îmbunătățiri de viteză în operațiunea de regenerare, și alte companii au indicat că viteza este o caracteristică importantă [UDO 95].

În comparație cu Statele Unite, mai puțină importanță pare să îi fie acordată vitezei în Japonia. Ca de exemplu, unii industriași japonezi ce produc echipament PR pun mai puțină însemnătate pe furnizarea de software pentru a desena automat suporturile structurale ale pieselor ce trebuie construite, lăsând clienții să își deseneze laborios suporturile prin tehnici manuale. Cu toate acestea, un reprezentant „Sony” a menționat viteza ca unul dintre caracteristicile următoarei lor generații de mașini PR.

Materiale

Este o nevoie clară de a îmbunătăți proprietățile mecanice ale rășinilor și plasticului actual care se folosește în stereolitografiere. „Cubital” caută un material asemănător cu „epoxidul” care se va potrivi cu proprietățile rășini epoxice ale sistemelor în 3D și un material ca și ceara ce poate fi folosit la turnarea pieselor de metal.

Institutul de Testare și Știință al Polimerilor de la Universitatea din Stuttgart i-a ajutat pe EOS să dezvolte un polistiren pentru sinterizare selectivă cu laserul. Sinterizat cu laserul, acest material are o putere relativ scăzută și este în general folosit pentru a turna metal în forme sau pentru a vizualiza modelele. [IKP 06]

Deși poate fi infiltrat pentru a produce piese rigide puternice, poliamida (nylonul) este în general folosită pentru piese care cer o rezistență sau o duritate mai ridicată. Utilizatori precum „Daimler Benz” doresc modele care au proprietățile mecanice ale ABS-ului; adică cu maleabilitate pentru a testa balamalele flexibile și alte proprietăți funcționale ale designului.

Rășinile cu densitate completă, care pot fi produse prin stereolitografiere, sinterizare selectivă cu laser, sau infiltrație, nu vor reproduce proprietățile mecanice ale unei piese produse prin turnare în forme cu plastic, datorită trăsăturilor reologice

din piesele turnate în plastic care pot alinia polimerii anizotropi pentru a produce proprietăți mecanice diferite în direcții diferite înăuntrul piesei. Într-un fel similar, piesele din metal sinterizate nu reproduc proprietățile mecanice ale produselor complet forjate sau turnate. Proprietățile pieselor de plastic care se apropie de ceea ce pare a se aștepta de la piesele produse poate fi obținut doar folosind utilaje rapide pentru a produce piese turnate. Producătorii de echipament și de rășini, institutele de cercetare și ceilalți observă nevoia de dezvoltare rapidă a materialelor și utilajelor rapide pentru a produce piese care să se apropie de proprietățile mecanice ale pieselor de producție, și a putea face câteva sute de piese pentru testele funcționale.

O primă preocupare atât în Europa cât și în Japonia este dezvoltarea rășinilor cărora li s-au îmbunătățit proprietățile mecanice, stabilitatea dimensională mai bună și pe termen lung, rezistentă la o temperatură mai mare, și costuri scăzute. Proprietățile mecanice mai bune le dau designerilor o libertate mai mare în folosirea modelelor PR pentru a testa caracteristicile funcționale. Câteva companii și-au exprimat dorința de a obține proprietăți echivalente cu ABS-ul.

Este de asemenea nevoie de o mai mare stabilitate dimensională în timp (adică 30 zile). Când Ministerul japonez de Comerț Internațional și Industrie (MITI) a făcut fondurile disponibile pentru a dezvolta rășini mai bune, o trăsătură care a fost specificată ca obiectiv a fost stabilitatea dimensională dependentă de timp. Producătorii de rășină dezvoltă și ei rășini pe baza de epoxid tratabile cu UV pentru a reduce deformarea. O stabilitate termică mai ridicată este de dorit în prototipare rapidă a rășinilor când se folosesc pentru: producerea formelor de plastic care sunt folosite pentru a face câteva sute de piese-prototip din plastic obișnuit, și crearea modelelor funcționale care trebuie să suporte temperaturi ridicate, cum ar fi testarea funcțională a robinetelor conductelor unui motor cu combustie internă. Și rășinile pentru stereolitografiere sunt scumpe.

Firma „Schneider” din Germania ar dori să vadă mai multe prețuri pentru rășină, astfel încât să devină mai competitive. O singură cuva mare de rășină pentru stereolitografiere poate costa 100.000 \$ în Japonia. Pentru companii care fac piese mari, cum ar fi robinetele conductelor pentru motoare, aceasta este o problemă semnificativă. În Europa există o activitate considerabilă în inventarea procedeeelor prin care să se fluidizeze direct componente de metal.

În procedee în care se folosesc metale sub forma de pudră în metodele de sinterizare selectivă cu laserul, produsele PR rezultate sunt poroase. Se pot sinteriza în furnale pentru consolidarea obiectelor, dar aceasta se sfârșește cu strâmtarea și pierderea acurateții dimensionale. Alternativa este de a infiltra un aliaj cu o rată de topire mai mică sau o rășină de epoxid pentru temperatura ridicată care nu necesită sinterizarea în furnal.

Produsele infiltrate reprezintă un compromis: nu au proprietăți bune rezistente la temperaturi ridicate și de multe ori au o densitate prea scăzută și își uzează rezistența în comparație cu obiectele de oțel complet dense; totuși, sunt deseori potrivite pentru uneltele de probă pentru crearea câtorva mii de piese turnate în forme.

Institutul „Fraunhofer pentru Tehnologia Producției” (IPT) dezvoltă un procedeu pentru a crea direct piese din metal complet dens printr-un procedeu de topire cu laserul, numit PR Generată cu Laserul, care încorporează o freză pentru a ajusta pereții și suprafețele fiecărui strat pentru a îmbunătăți acuratețea și finisarea suprafeței [IPT 07].

Există două forme de echipament metalic: de probă și de producție. Obiectivul pe termen lung ale institutelor europene de cercetare și ale producătorilor

de echipamente este să creeze și să dezvolte obiecte de metal PR și procese de producere a echipamentelor de producție. Totuși, acuratețea este o problemă majoră. În producerea de utilajele metalice de probă, atingerea unui grad ridicat de acuratețe și apropierea de proprietățile mecanice ale metalului forjat sunt considerații serioase. Obținerea ambelor proprietăți în același timp încă nu este posibilă.

Este clar că în Europa este nevoie de piese metalice produse prin prototipare rapidă pentru utilaje și componente structurale. La firma „Schneider Prototyping”, de lângă Frankfurt, 15-20% din comenzi sunt pentru piese metalice și echipamentelor [SCH 91].

Comisiei i s-a spus ca companiile germane își trimit modelele de prototipare rapidă sau fișierele CAD în Statele Unite pentru a fi turnate în piese metalice pentru ca prețurile și calitatea sunt mai bune decât în Germania [WTE 08].

Topitoriile /turnătoriile germane au învățat încet metodele de turnare care folosesc etaloane de prototipare rapidă pentru tipare de turnare. În comparație cu Statele Unite, nu pare să se acorde prea mult interes în Europa și Japonia construirii pieselor de ceramică prin Prototipare Rapidă. La momentul vizitei comisiei, câteva companii și instituții din Europa lucrau la dezvoltarea procedeelelor pentru ceramică, dar accentul părea să se pună pe rășinile polimerice și produsele metalice.

În Japonia, „Kira Corporation”, care construiește o mică mașină de prelucrare a hârtiei (sau a obiectului) laminate (LOM), ar dori să vadă procedeul capabil de o mai mare acuratețe. Acum este limitată la ± 0.1 mm/25 mm în plan orizontal (direcția x-y) și 0.3 mm/25 mm în plan vertical (direcția z). Umflarea piesei terminate în direcția z, datorită umidității poate fi de asemenea o problemă, pe care cercetătorii de la „Kira” speră să o corecteze cu o hârtie îmbunătățită [KIR 07].

Echipamentele ce vor produce 200-500 piese de plastic în 3-4 săptămâni este un țel pentru „Schneider Prototyping”. Institutul „Fraunhofer pentru Tehnologia Chimică (ICT)” experimentează crearea formelor de plastic cu rășină epoxică folosind stereolitografierea. EOS oferă o unitate de sinterizare selectivă cu laser special desenată pentru crearea formelor de metal ce folosesc o pudră de metal bazată pe bronz. Firma Shonan Design a dezvoltat o tehnică de crearea a formelor care poate produce 200 de piese turnate în 2-3 săptămâni folosind unitățile de stereolitografiere ale celor de la „Teijin Seiki” și rășină cu sticlă [SHO 06], [TEI 06].

Cu toate acestea, acuratețea nu e mai mare de ± 0.3 mm peste lungimea părților mici (~12 mm) pentru până la 200 de piese. Producătorii japonezi de echipament și rășina care concurează cu „Teijin Seiki” lucrează la dezvoltarea rășinilor care pot fi folosite pentru prototipuri de forme [TEI 06].

Sinterizarea cu laser nu era în general folosită în Japonia la momentul vizitei comisiei, și nici aceștia n-au văzut vreo dovadă ca firmele japoneze încercau să dezvolte asemenea tehnici. De atunci, peste două duzini de mașini de sinterizare selectivă cu laser au fost instalate pe partea asiatică a Pacificului.

Politici de dezvoltare a tehnicilor de RP

Câteva dintre cele 46 de instituții „Fraunhofer” din Germania dezvoltă cursuri educaționale pentru diverse aspecte ale prototipării rapide pentru companii mici și mijlocii. Judecând după numărul conferințelor pe tema PR și cursurilor de PR comercială în Europa, există un puternic interes în asemenea programe.

Universitățile Warwick, Nottingham și Buckingham din Anglia au dezvoltat și încă dezvoltă consorții cu industriile făcute să educe personalul industrial și de asemenea să urmărească anumite scopuri de dezvoltare [JUL 01].

În timp ce, în mod tradițional, companiile japoneze n-au lucrat îndeaproape cu universitățile sau instituțiile de cercetare, acest lucru se schimbă. Se pare că industriile japoneze au început să abordeze universitățile pentru ajutor în educarea forței de muncă ingineresti pentru a ajuta companiile să țină pasul cu tehnologiile rapid schimbătoare.

Pentru a cita un anumit exemplu, Terry T. Wohlers de la Wohlers Associates, în revizuirea unei schițe a raportului său, a indicat ca în iunie 1996, Prof. Nakagawa de la Universitatea din Tokyo i-a descris „un proiect guvernamental japonez cu „Toyota Electronic și Institutul Telecom din Nagoya”, în valoare de 1.5 milioane de dolari cu durata de un an [WTE 08], [TOD 04].

Atenția acestui proiect se concentrează pe producerea utilajelor de producție prin tăierea cu laserul și laminarea plăcilor de oțel. Toyota a produs și a folosit 100 de matrițe folosind abordarea laminării plăcilor a lui „Nagakawa” pentru prototipurile de utilaj. „Nagakawa” lucrează cu Prof. Takeuchi de la Institutul Electronic și Telecom din Tokyo pe mașini cu 5 axe de viteze mari. Cu toate acestea, în Japonia nu este nici un program specific de PR care să implice laolaltă industria, universitățile și guvernul.

Este dificil de construit o imagine simplă despre cum decurg fondurile în Europa de la agențiile guvernamentale spre industrie și universități și mai departe spre dezvoltarea PR.

Aceasta se datorează numărului ridicat de forme guvernamentale locale suprapuse și împletite, guvernului federal, și programelor agențiilor Comunității Europene care asigură suport.

De exemplu, există suport pentru programele de prototipare rapidă, și relaționate cu ele de la Comisia Comunității Europene prin BRITE/EuRAM, RACE, ESPRIT, COMPLAN, și EARP [WTE 08].

Unele programe cum ar fi EARP (European Action on Rapid Prototyping = Acțiunea Europeană asupra Prototipării Rapide) care este sub BRITE/EuRAM (Basic Research of Industrial Technologies for Europe/European Research on Advanced Materials = Cercetarea Fundamentală a Tehnologiilor Industriale pentru Europa / Cercetarea Europeană a Materialelor Avansate) au fonduri foarte limitate pentru distribuție.

1.4. Realizări de referință în utilizarea prototipării rapide pe plan mondial

1.4.1. Clienții Prototipării Rapide

Sistemele de prototipare rapidă au fost comercializate în diverse industrii. Această afacere este originară din SUA, au apărut multe firme și comercianți în Europa și în Asia. Majoritatea cumpărătorilor sunt din domeniul automotivelor, aerospațialului, și al electronicii, care au fost primii în adoptarea acestor tehnologii. Aplicațiile se regăsesc și în alte domenii de industrie cum ar fi cea a jucăriilor, bijuteriilor, medicini cât și a altor produse. Mai multe firme mici au devenit interesate de astfel de sisteme și de avantajele lor, datorită scăderii prețurilor și răspândirii sistemelor de genul imprimantelor 3D.

Adoptarea modelelor CAD 3D este o necesitate pentru utilizarea sistemelor de prototipare rapidă. Programul furnizat de sistemul de prototipare rapidă analizează și transformă modelul 3D în așa fel încât să fie utilizabil de sistem.

Piața prototipării rapide este influențată major de anumite cerințe tehnologice și de prețuri. Nevoile utilizatorilor de a reduce timpul de prelucrare și lansare, probleme legate de scurtarea ciclului de viață a produsului, globalizarea, etc se regăsesc în factori ce influențează prețurile noilor tehnologii. Factorii tehnologici includ reducerea costurilor de procesare, introducerea aplicațiilor 3D CAD mai ieftine, și creșterea comunicării în rețea celor care folosesc tehnici de prototipare rapidă.

Afacerile se orientează spre fabricarea reperelor și produselor individualizate, deseori numit personalizare în masă. Aplicațiile industriale care ar putea beneficia de costuri reduse a prelucrărilor sau chiar de nefolosirea sculelor, sau de produse personalizate au condus la performanțe îmbunătățite este un viitor segment de piață pentru fabricarea aditivă.

Această piață a sistemelor de prototipat are o vechime de 19 ani și există aproximativ 50 de firme care se ocupă cu comercializarea sistemelor și a tehnologiilor pe glob. Majoritatea fiind companii mici a căror tehnologie de fabricare aditivă este încă în stadiu de dezvoltare. Sunt cel puțin 16 firme în America de Nord, 10 în Japonia, 6 în Asia, și 17 în Europa și Israel. Mai mult de 12 dintre aceste companii vând sisteme bazate pe stereolitografie.

3D Systems a vândut prima mașină de prototipare rapidă în 1988. Helisys, DTM și Stratasyss au intrat pe piață în decursul următorilor 4 ani cu produse ce se bazau pe diferite tehnologii. Aceste companii împreună cu tehnologiile lor au reprezentat prima generație de sisteme de prototipat. Majoritatea produselor vândute au avut dimensiuni mari cât și prețul de achiziție era mare. Deși Stratasyss avea prețuri și specificații tehnice asemănătoare cu produsele din a doua generație, firma n-a avut vânzări majore timp de câțiva ani [3DS 07].

A doua generație de sisteme, se baza pe tehnici cu jeturi de cerneală, și au apărut în anii 1995. Solidscape și Z Corporation au avut oferte mult mai atrăgătoare datorită ușurinței de utilizare a produsului, dimensiunilor reduse și a prețului mai scăzut. 3D Systems a introdus un produs ce funcționa pe baza tehnologiei jetului de cerneală având primele vânzări în 1997. Producătorii străini au copiat, modificat sau îmbunătățit tehnologia firmelor din SUA. Tentativele acestor firme de a intra pe piața din SUA au eșuat. Mai recent, firmele din Asia, Europa și Israel au dat dovadă de originalitate tehnică în producerea sistemelor de prototipare, iar unele dintre aceste firme au format parteneriate cu cele din SUA pentru a avea acces la această piață.

1.4.2. Producătorii din SUA [WTE 08]

3D Systems

3D Systems rămâne fruntașul industriei prototipării rapide, însă numărul vânzărilor acestei firme a scăzut respectiv nu mai este firma cu cea mai mare varietate de mașini. Două treimi din încasările firmei sunt datorate vânzărilor materialelor de bază cât și de servicii. În 2007 a arătat o creștere pozitivă față de anul precedent când s-au înregistrat pierderi substanțiale. Încasările au crescut cu 16% până la 157 de milioane iar pierderile s-au redus de la 31 de milioane în 2006 la 6,7 milioane în 2007. Descreșterii încasărilor revenite din mentenanța anumitor

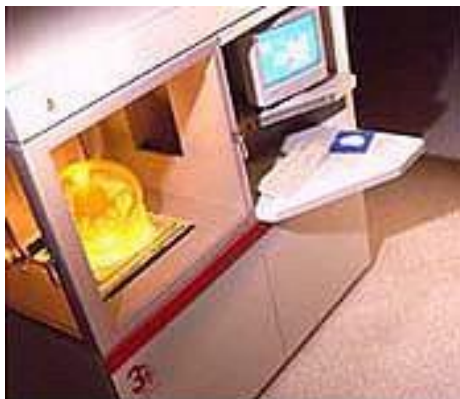
sisteme la care s-au făcut reduceri, problemelor ce s-au înregistrat cu programul intern al întreprinderii, etc. Și anul 2005 a fost problematic, se înregistrau pierderi datorită competiției acerbe, unui mixaj de produs mai puțin profitabil, costurilor asociate unor achiziții de firme și unui litigiu.

Compania, în următorii ani, a lucrat constant pentru a dezvolta piața, pentru a-și proteja poziția cu sute de brevete, prin îmbunătățirea mașinilor de prototipat, a programelor, cât și a materialelor. Acestea au condus la îmbunătățirea acurateței, finisării suprafețelor și a proprietăților materialelor care au avut un rol important în dezvoltarea pieței prototipării rapide.

3D Systems a mai achiziționat tehnologii, cât și companii pe dealungul anilor. A cumpărat tehnologia Keltool de la firma 3M cu mai mulți ani în urmă, care se adresează aplicațiilor de fabricare a matrițelor de injectat. În 2001, a cumpărat firmele OptoForm (Franța), RPC Ltd. (Elveția), (producător de fotopolimeri și chimice) și corporația DTM. Tehnologia OptoForm a fost destinată pentru aplicații de fabricare aditivă, iar RPC a fost cumpărat pentru a înlocui producătorii de rășină. Aceste achiziții i-au dat un avantaj enorm firmei, pe piață, însă integrarea acestor firme n-a fost ușoară.

Schimbările de materiale și a tehnologiilor a scăzut cu mult necesitatea de cumpărare a sistemelor mai vechi a firmei. Procesul Keltool a fost o îmbunătățire pentru sinterizarea selectivă prin laser, datorită apariției numeroaselor aplicații ce se ocupau cu prelucrarea matrițelor de injectat rapid. Datorită îmbunătățirilor făcute în domeniul fotopolimerilor compoziți, care permit producerea reperelor cu proprietăți superioare prin stereolitografie, a condus la achiziția tehnologiei celor de la OptoForm.

Compania dispune de o varietate de produse ce se bazează pe tehnologii diferite. Stereolitografia (figura 1.8.) este vândută pentru aplicații care necesită acuratețe și rezoluție mai mare. Aceste produse utilizează lasere pentru solidificarea succesivă a mai multor straturi dintr-un lichid fotopolimeric. Sinterizarea selectivă produce repere din materiale sub formă de pulbere. Sub numele de InVision, 3D Systems oferă sisteme cu jeturi de cerneală și fabricarea prin laminare care sunt imprimante 3D mai ieftine, cu acuratețea scăzută fiind destinate unui mediu de birou.



SLA 7000 stereolithography system.
(Courtesy, 3D Systems.)

Figura 1.8. SLA [RPS 08]

Familia de mașini bazate pe fotopolimeri utilizează o varietate mare de capuri de injectat care pot depozita straturi de material de construcție cât și materiale de suport. Fiecare strat este întărit cu ajutorul unei lămpi, iar materialul de suport este înlăturat prin topire. Original, produsul a fost dezvoltat pentru a concura cu mașinile firmei israeliene Object Geometries, dar prețul acestei mașini a fost înjumătățit ajungând la 39,000 de dolari pentru a concura cu cele mai noi produse lansate a firmelor Z Corp și Stratasys. În aprilie 2005, compania anunțat vânzarea unei mașini de la Solido Ltd. (Israel) sub numele de marcă InVision LD.

Fabricarea reperelor se bazează pe tăierea și îmbinarea straturilor de material dintr-un film de plastic, sistemele fiind destinate mediului de birou. Prețul era la 23,000 de dolari, fiind sub prețul de ofertă a competiției, și a vizat segmentul de piață a imprimantelor 3D. Această opțiune a condus la o micșorare de preț a sistemelor, în ianuarie 2006 Stratasys a micșorat prețul sistemului Dimension BST la 18,900 de dolari, urmând ca în decursul a cinci săptămâni Stratasys să-și estimeze prețul sistemului la 14,900 de dolari.

Cu achiziția lui DTM, 3D (figura 1.9) a achiziționat o tehnologie de sinterizare selectivă prin laser care-i capabil să producă repere finale din materiale polimerice și metal. Sistemul utilizează un laser pentru a topi parțial straturi succesive de pulbere [HOM 07].

Achiziționarea s-a produs în august 2001, pentru 45 de milioane de dolari. Departamentul de Justiție a dat în judecată firma pentru a împiedica îmbinarea celor două firme. 3D a făcut o înțelegere de a cumpăra licența anumitor proprietăți intelectuale de la firme străine, pentru a permite intrarea acestor companii pe piața din SUA. A fost ales D-MEC, o filială a lui Sony, înțelegerea a fost făcută pentru a asigura cel puțin 3 competitori pe piața din SUA. Din nefericire pentru ambele companii, cumpărătorii au pus accent pe imprimantele 3D decât pe sistemele mai capabile de stereolitografie, având ca și rezultat retragerea firmei Sony de pe această piață în mai 2006.

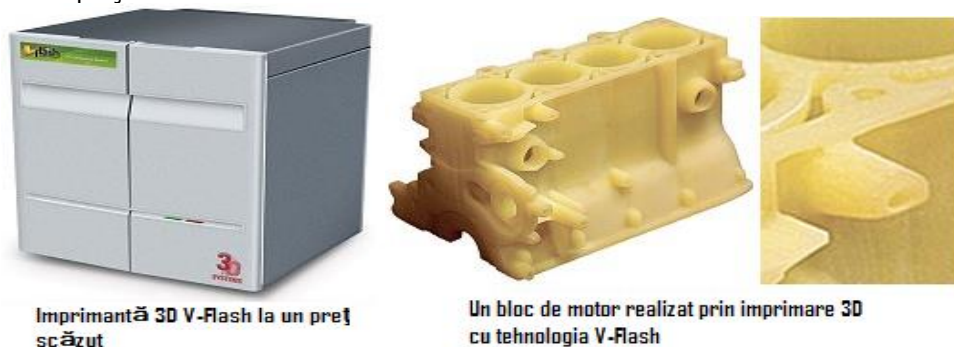


Figura 1.9. Imprimantă 3 D [HOM 08]

La începutul lui 2008 3D Systems a anunțat planuri referitoare la vânzarea echipamentelor, în SUA, bazate pe tehnologii similare, numit topire selectivă prin laser, de la MCP Tooling Technologies. Aceste mașini sunt complementare sistemelor de sinterizare selectivă prin laser, oferind o varietate mare de materiale și repere dense în întregime .

Compania vrea să-și recâștige dominanța în acest segment de piață și modul de a realiza acest obiectiv este prin introducerea produselor noi. În ianuarie 2007 compania a făcut un astfel de pas prin anunțarea unei noi tehnologii bazat pe

fotopolimeri, cu capacități asemănătoare cu stereolitografia. Cu un preț de 9,900 de dolari - mult mai scăzut ca orice altceva cu capacități asemănătoare pe piață, v-a avea un impact enorm asupra industriei. Data de lansare este în semestrul întâi din 2008 și este numit V-Flash Desktop Modeler.

Firma a început să vândă mașini pentru aplicații de fabricare specifice. De exemplu, în 2006 compania a introdus InVision Dental Pro sistem pentru dentiști. În 2007 a anunțat sistemul nou de fabricare a aparatelor de auzit. Din ce în ce mai multe industrii vor adopta fabricarea aditivă datorită avantajelor unice pe care le oferă. Deși majoritatea competiției focalizează pe aceste oportunități de creștere, 3D are avantajul de a avea acces la o gamă largă de tehnologii.

Stratasys [WTE 08]

A fost prima firmă care a vândut primul sistem bazat pe modelarea îmbinării depuse, în 1991. A avut încasări de 112 milioane de dolari în 2007, o creștere cu 6% față de anul 2006. Acesta a fost o creștere mult mai mică față de 26% în anul 2006 și în anii anteriori în care aproape și-a triplat încasările. Stratasys a produs un profit de 11,2 milioane de dolari în 2006 și 14,3 milioane în 2007.

Compania a vândut 2,169 de mașini în 2007 în comparație cu anul precedent când a vândut 1,796, deși creșterea a fost de 21% față de 38% în anul 2006. Este unul dintre cei mai mari furnizori din lume și are cel puțin 9200 de mașini vândute.



Titan FDM system.
[Courtesy, Stratasys.]

Figura 1.10. Titan FDM [WHO 08]

Majoritatea mașinilor lui Stratasys (figura 1.10) sunt mici, nu produc zgomot și pot fi utilizate în birou. Companie produce mașini mai mari pentru laboratoare și uzine cu capacități de producere a unor reperi de dimensiuni mai mari. Sistemele sunt capabile putând să producă reperi mici și rezistențe la viteze mari, utilizând o varietate mare de materiale (ABS, policarbonat, polifenilsulfat, poliester și altele). Finisările și acuratețea au fost îmbunătățite dealungul anilor. [HOM 08]

În 2002 compania a revigorat industria prin introducerea pe piață a unei imprimante 3D la 30,000 de dolari, fiind jumătatea prețului celui mai apropiat competitor. Aceasta a condus la creșterea vânzărilor cu 70% în 2002. În concluzie Stratasys și-a mai redus prețurile ajungând la 24,900 de dolari la începutul lui 2004,

iar simultan a introdus un sistem care era capabil să înlăture materialele de suport, la un preț de 35,000 de dolari.

Compania și-a mai redus prețurile ca și un răspuns față de competiție. În ianuarie, 2006 a anunțat un sistem la 18,900 de dolari și 24,900 pentru o mașină cu înlăturarea automată a suporturilor. Deși în Asia existau echipamente în jur de 10,000 de dolari, aceasta a marcat prima dată când s-a depășit bariera de 20,000 pe piața din SUA.

La sfârșitul lui 2003 a început marketingul în SUA a sistemului israelian numit Objet Geometries, ce funcționa cu fotopolimeri. Deși vânzările au ajuns până la 16 milioane până în 2006, Stratasys a pus capăt alianței deoarece cifrele au fost insuficiente.



familia de imprimante 3D The Dimension

Figura 1.11. Imprimante 3D Dimension [DES 08]

În ianuarie 2006 compania a anunțat o înțelegere de marketing făcută cu firma Arcam AB (Suedia) pentru a-și vinde echipamentul, bazat pe topirea cu fascicul de electroni, în SUA. Prin această înțelegere Stratasys a încercat să pătrundă pe piața care se adresa reperelor metalice, însă compania s-a retras în Ianuarie 2008. [HOM 08]

Datorită produselor firmei Arcam (figura 1.11), Stratasys a reușit să ofere o varietate mult mai mare de aplicații de fabricare aditivă și poate că astfel se va înregistra o reprofilare a strategiei companiei. [HOM 08]

Prin combinarea seriei de mutări afaceriste și a dezvoltărilor tehnice, Stratasys a reușit să introducă o tehnologie cu succes care a fost văzută ca și o tehnologie foarte limitată. Utilizatorii însă au avut alte opinii. Lor le place simplitatea, durabilitatea, funcționarea fără zgomot, și posibilitatea de a utiliza mașinile într-un birou respectiv capacitatea de a produce numeroase reperi termoplastice. Dar cel mai atrăgător este prețul de achiziție, astfel mașinile și-au croit calea spre facultăți și licee.



Figura 1.12. Imprimantă Z 310 [CET 08]

Stratasys vinde materialele de bază sau de lucru la un preț destul de ridicat, având ca și rezultat apariția mai multor producători și furnizori de materiale.

Z Corporation [WTE 08]

Corporația Z produce echipamente de prototipare rapidă bazate pe tehnologia celor de la MIT numit imprimare 3D. Sistemul utilizează o gamă largă de capete de injectat pentru a îmbina pudra cu ajutorul unui liant în forma obiectului.

Materialele tipice utilizate erau ghipsul sau amidonul, urmat de un tratament secundar de infiltrare pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice a reperului. Finisarea și acuratețea materialelor este mai slabă decât cea a concurenților, dar s-au făcut îmbunătățiri în domeniul materialelor și a finisărilor ulterioare pentru înlăturarea acestui neajuns. Opțiunea de colorare și materialele cu proprietăți elastomerice au fost introduse în 2001. Calitatea culorilor a fost îmbunătățită și a devenit un atu important la vânzarea echipamentelor. Sistemul este mult mai rapid decât celelalte imprimante 3D (figura 1.13) putând construi reperi mai mici în una sau două ore. [EMC 08]



Imprimanta 3D color Z450 se vinde la un preț sub 40,000 de dolari

Figura 1.13. Imprimanta 3D color Z450

Reducerile de prețuri, care au început în anul 2002, au ținut firma în strânsă competiție cu Stratasys. Cel mai ieftin sistem (figura 1.14) se găsește la 19,900 de dolari. Încasările au crescut cu 20% în 2004, cu 24% în 2003, și cu 50% în 2005 ajungând peste 30 milioane de dolari [SOL 08].

Vânzările de aparate au ajuns la 1000 în ianuarie, 2004 iar până la sfârșitul anului au mai vândut 422 de mașini ducând numărul aparatelor instalate la 1,452. Conform unor sondaje din 30 Iunie, 2004, Z Corporation a fost liderul industrie în aparate vândute pe anul 2003, având o rată de creștere cu 66,2% față de anul precedent.

În iulie, 2005, firma a anunțat fuziunea cu Contex Scanning Technology din Danemarca, fiind un constructor de aparate de scanat. Combinarea celor două entități au dus la vânzări anuale ce depășesc 100 de milioane de dolari, iar Corporația Z funcționează ca și o filială independentă.

Prețul produselor firmei concurează cu cei de la Stratasys, însă ambii producători oferă capacități diferite. Viteza superioară a Corp. Z este un factor

important pentru cumpărători, care balansează capacitatea mașinilor, oferite de Stratasys, de a lucra cu o varietate mai largă de materiale. Utilizarea culorilor este un atu care-l favorizează pe cei de la Z Corp., pe când sistemele celor de la Stratasys ajung în mediul educațional.



Sistem de prototipare bazat pe jeturi de cerneală T66

Figura 1.14. Sistem de prototipare T66

Solidscape

Solidscape, fondat în 1994, produce mașini bazate pe jeturi de cerneală. Sistemul poate produce repere mici cu o finisare excelentă a suprafeței, dar la o viteză de lucru foarte mică. Utilizează un cap de frezat pentru netezirea fiecărui strat, permițând corectarea greșelilor ulterioare, rezultate dintr-o greșeală a capului de injectat. Compania a avut succes în domeniul bijuteriilor, a medicinei și în locuri unde se fabrică obiecte mici.

Cubic Technologies Inc.

Este succesorul firmei Helisys Inc., care a vândut sisteme bazate pe fabricarea obiectelor prin laminare. Această tehnologie simplă utilizează un laser pentru a tăia straturi de hârtie ca pe urmă să le suprapună și să le îmbine într-un întreg lemnos. Această metodă este utilizată pentru repere de dimensiuni mari și pentru matrițe. Dezvoltarea tehnologiilor ce vizau acest segment de piață au condus la închiderea firmei Helisys în 2000. În concluzie sistemele vor fi utilizate în segmentele de piață cărora au fost adaptate.

Ca și avantaj al metodei se poate menționa viteza de lucru, cu un cost scăzut de materiale de bază. Cel mai des se utilizează hârtia, dar se pot folosi și materiale plastice și compozite din ceramică și fibră optică. Dezavantajele se manifestă la nivelul finisării și acurateții obiectului, iar materialele de suport trebuie înlăturate manual. Rezoluția este limitată de grosimea materialului.

Desktop Factory

Primul produs al firmei v-a fi lansat în ultimul semestru al lui 2008, și v-a încerca să remodeleze piața fabricării aditive. Compania vrea să lanseze o mașină

care să se vândă sub 5,000 de dolari. Materialul inițial este nylon umplut cu aluminiu ce prezintă o rezistență bună, iar mașina (figura 1.15) v-a lucra cu viteze similare cu celelalte sisteme de pe piață. Pe de altă parte, modelele și reperele (figura 1.16) nu o să prezinte ondulații de detaliu deoarece grosimea straturilor depuse v-a fi de ordinul zecimilor de milimetri, iar solidificarea straturilor se asigură cu o lampă incandescentă. Cum în proces se utilizează un singur material, structurile de susținere pentru degajări trebuie fabricate și înlăturate prin procese ulterioare, proces ce poate consuma mult timp datorită robusteții materialului de bază. [DES 08]



**Imprimanta 3D de la Desktop
Factory**

Figura 1.15. Imprimantă Desktop factory [DES 08]



Figura 1.16. Repere realizate pe 3D Desktop Factory [DES 08]

Totuși este o metodă de fabricare aditivă, iar prețul de 5,000 de dolari a atras deja o mulțime de clienți. Mașina poate fi utilizată ca și o unealtă pentru a învăța, sau în aplicații mai puțin speciale. Dar totuși rămâne de văzut dacă compromisurile făcute vor permite atragerea unor audiențe și mai largi. Dacă compania v-a reuși să obțină destul suport pentru produsul său inițial, atunci v-a fi într-o poziție bună pentru a-l îmbunătăți și de a-și extinde raza de acțiune.

1.4.3. Producătorii din Europa

Numărul companiilor europene și israeliene, ce furnizează tehnologii de fabricare aditivă (figura 1.17), a depășit numărul companiilor din SUA. În ultimii ani comunitatea Europeană a făcut un efort pentru a dezvolta și a promova tehnologiile

aditive. În acest program sunt incluse mai multe organizații academice și producătorii care pun un mare accent pe fabricarea rapidă.

EOS GmbH

EOS GmbH (Germania) au produs atât sisteme de stereolitografiere cât și de sinterizare selectivă prin laser, dar și-au vândut afacerea de stereolitografiere celor de la 3D Systems în 1997. Rămâne cel mai mare producător European, și pretinde că are vânzări de două ori mai mari ca și concurența. Aproximativ pentru anul 2006/2007 a avut venituri de 88 milioane de dolari, o creștere de 14% față de anul precedent și fiind mai bună decât anul 2005/2006 în care s-a înregistrat o creștere de 6% [EOS 08].



Figura 1.17. Mașina EOS Formig P100 [EOS 08]

La începutul lui 2003, compania a pus sub semnul întrebării supremația lui 3D Systems în SUA prin instalarea a două sisteme de sinterizare selectivă prin laser la două firme din America. A fost primul val de neînțelegeri care au dus la mai multe dispute privind licențele și brevetele utilizate de firma germană. În 2004 cele două firme au ajuns la un acord comun privind proprietățile intelectuale și neînțelegerile. Ca urmare cei de la 3D Systems au început să vândă câteva sisteme a firmei germane

EOS a pus mare accent pe dezvoltarea tehnologiilor de fabricare rapidă cât și a aplicațiilor de prelucrare pentru sistemele lor. Efortul a avut un succes sporit deoarece fabricarea rapidă a fost recunoscută de mai multe industrii. Compania a lucrat și cu Triumph GmbH, firmă ce se ocupă cu producerea de lasere și scule pentru mașini, cu scopul de a-și extinde tehnologia de la sinterizare selectivă prin laser la topire selectivă prin laser. Topirea selectivă prin laser este asemănător cu sinterizarea, însă prin acest procedeu se obțin repere fără pori. Triumph lucrează cu firma POM-Group din SUA, privind aspectele legate de tehnologia acestei firme de formare din pulbere cu laser. Există o posibilitate de convergență între cele 3 firme [EOS 08].

Venitul EOS-lui a scăzut în ultimii ani, însă creșterea dimensiunii uzinei sale a fost de 22% în ultimii ani, firma axându-se pe seria mică de fabricația și pe fabricare aditivă se poate aștepta în viitor la o creștere substanțială a veniturilor.

Arcam AB

Arcam AB (Suedia) (figura 1.19 și figura 1.18) a comercializat tehnologia topirii cu fascicul de electroni. Procesul este similar sinterizării cu laser, însă laserul este înlocuit cu un fascicul de electron (4 KW), producând repere dense dintr-o varietate largă de metale și aliaje. Un avantaj interesant al sistemului ar fi eficiența de energie. În Ianuarie 2008 compania a anunțat intenția de a comercializa produsele sale în SUA după ce alianța sa cu Stratasys a încetat. [ARC 08]



Figura 1.18. Repere fabricate cu fascicul de electroni [ARC 08]



Figura 1.19. Mașina furnizată de firma ARCAM [ARC 08]

Envisiontec GmbH

Envisiontec GmbH (Germania) produce sistemul Prefactory (figura 1.20), care utilizează fotopolimeri și mecanisme deformabile cu oglinzi pentru a crea imagini de straturi. Prețul de vânzare este cu puțin sub cel al concurenței, fiind în jur de 60,000 de dolari. Mașinile pot produce repere cu o acuratețe ridicată, fiind acceptate și în industria producției de bijuterii. Conform informațiilor furnizate de companie s-au vândut în jur de 1,200 de mașini în domeniu și numai 300 în anul 2007. [ENV 08] Limitările care au provenit datorită dimensiunii incintei de lucru au fost depășite prin introducerea noului sistem PrefactoryXede la sfârșitul lui 2007. Mașina are un volum de lucru de 600*500*500 mm, și are capacitatea de construire de 20 de mm pe oră cu o rezoluție de 50 de microni pe axa Z. O altă proprietate a mașinii este

capacitatea acestuia de a construi modelele mișcări continue, practic piesa crește în fața ochii operatorului.



The PrefactoryXede®
(Courtesy, Envisiontec GmbH.)

Figura 1.20. Sistemul Prefactory [ENV 08]

Compania produce Bioplotter-ul, un sistem ce construiește schele 3D (figura 1.21) cu aplicații pentru țesut. Această mașină se bazează pe distribuția hipodermică a unui material de întărire într-un mediu lichid. [ENV 08]



Figurină detaliată făcută cu Prefactory



Modele de desktop de sisteme Prefactory de la Envisiontec

Figura 1.21. Modele de sisteme Prefactory [ENV 08]

Sintermask Technologies AB

Sintermask Technologies (Suedia) lucrează la o tehnologie care vrea să depășească performanțele sinterizării selective cu laser, ea se bazează pe formarea reperelor din pudră. Tehnologia vizează aplicațiile de fabricare rapidă pentru repere din polimer. [SIN 08]

Materialise NV

Materialise NV (Belgia) este un producător de programe pentru sisteme de prototipare rapidă, având filiale în mai multe țări. Sistemul de stereolitografie a firmei, numit Mamoth, poate produce un tablou de bord a unui automobil dintr-o singură bucată.

MCP-HEK Tooling GmbH

Fockle & Schwarze (figura 1.22) (Germania) a fost primul furnizor de sisteme de topire selectivă cu laser, tehnologie dezvoltată de Fraunhofer Institute. F&S a pornit ca și un furnizor de tehnologie de stereolitografiere, dar acum produce sisteme pentru aplicații de cercetare. În 2006, firma a introdus pe piață sisteme de dimensiuni reduse ce vizau domenii precum stomatologia, bijuteriile, unde se produc reperi mici.



Figura 1.22. Sistem SLM [MCP 08]

Sistemele pot realiza reperi dintr-o varietate mare de materiale: oțel inoxidabil, titan, oțel de scule, crom de cobalt, etc. [MCP 08]

La începutul lui 2008, 3D Systems a anunțat vinderea acestor echipamente în SUA.

1.4.4. Producătorii din restul lumii

Israel

Israel a fost sursa mai multor tehnologii de prototipare rapidă unice dealungul anilor. Majoritatea firmelor inițiale au dat faliment, dar țara încă mai conține unele firme care pot concura cu cele din SUA.

Objet Geometries Ltd.

Objet Geometries Ltd. a început să vândă sisteme bazate pe tehnologia sa, numit PolyJet, încă din 2001. Această tehnologie depune un material fotopolimeric utilizând o varietate largă de capete de injectat. Cu ajutorul razelor UV se solidifică fiecare strat depozitat. Materialul de suport este spălat cu un jet de apă. În Mai, 2003 compania a introdus un sistem care îmbunătățește calitatea pieselor prin utilizarea unor grosimi de strat egal cu 16 microni. Sistemele Eden, original, au fost

vândute prin Stratasys, dar recent acestea sunt furnizate direct de Objet. (figura 1.23) [HOM 08]

În 2001 compania a cumpărat brevetele unei firme nou intrate pe piața sistemelor de prototipare rapidă cu scopul de a-și proteja segmentul de piață.



Figura 1.23. Sistemul 330 Objet [HOM 08]

La sfârșitul lui 2003, 3D Systems a început să vândă un sistem bazat pe injectarea unui material fotopolimeric numit InVision (figura 1.24), similar cu produsul firmei israeliene. Sistemul a fost destinat contra produsului firmei Objet, însă aceasta a redus prețul sistemului său pentru a rămâne competitiv. Produsele lui Objet combină ușurința de utilizare, posibilitatea de utilizare într-un birou și calitatea reperelor asemănătoare cu cele obținute prin stereolitografie.



**O imprimantă 3D bazat pe tehnologia
lamonării obiectelor**

Figura 1.23. Imprimantă 3D [INI 08]

Pe la sfârșitul lui 2007 OBJET a anunțat sistemul Connex500, prima mașină care poate utiliza două materiale de fabricație deodată în proces. Acesta permite fabricarea produselor a căror proprietăți variază pe secțiune.

Solido Ltd. produce un mic sistem care produce repere din straturi de PVC. Se utilizează un cuțit pentru tăierea filmului de plastic derulat de pe o bobină urmând ca straturile depuse să fie îmbinate cu ajutorul unui solvent. Reperle obținute sunt detaliate iar mașina are capacitatea de a imprima pe obiect. Firma a semnat un contract de distribuire cu firma Japoneză Graphtec Corp.

În 2004, iar în SUA vânzarea sistemelor se face sub marca InVision de 3D Systems, la un preț sub 15,000 de dolari. 3D a început să vândă sistemele în 2005,

dar este greu de zis dacă-și v-a menține locul dacă se începe vinderea sistemelor V-Flash la un preț sub 10,000 de dolari.

Japonia

Deși sunt multe produse de prototipare rapidă în Japonia, foarte puține au trecut de graniță. Mai mulți producători s-au asociat cu firme mai mari precum Sony. Majoritatea firmelor se bazează pe investiții de lungă durată, precum dezvoltând tehnologia proprie, urmat de un marketing agresiv rezultând cu o competiție acerbă fără profit, utilizând produsele rezultate pe o piață străină după ce s-au rezolvat problemele legate de proprietatea intelectuală, însă datorită unor recesiuni prelungite din Japonia aceste firme trebuiau să pună mare accent pe profitul de scurtă durată. Acesta a condus la o schimbare în cadrul producătorilor japonezi.

Companiile Japoneze au pus mare accent pe îmbunătățirea mai multor porcese de stereolitografie și sunt cel puțin cinci companii care lucrează în acest domeniu. Japonezii se concentrează asupra dezvoltării mai multor materiale fotopolimerice. Din cauza restricțiilor legale privind ingredientele, acești polimeri nu pot fi vândute în afara Japoniei. Mașini mici de stereolitografiat pot fi cumpărate la mai puțin de 10,000 de dolari.

Nu toată activitatea din Japonia se bazează pe stereolitografie: Toyota Machine Works continuă să producă sisteme ce produc repere prin laminare. La fel produce și Kira astfel de mașini, dar folosește o imprimantă cu laser pentru a depune adeziv pe straturi și taie hârtia cu ajutorul unui cuțit ghidat în loc de un laser.

Japonia produce mai multe sisteme unice care nu sunt destul de cunoscute. Exemplu Afit Corp. A dezvoltat un sistem de prototipare rapidă bazat pe imprimarea cu laser. Tehnologia oferă viteză de lucru sporită, sistem cu rezoluție înaltă cu capacitatea de a lucra cu o varietate mare de materiale.

China

China este o țară activă în dezvoltarea tehnologiilor de prototipare, Universitatea Tsinghua este conducătorul majorității proiectelor. Firme precum Beijing Yinhua Ltd., Shanghai Union Technology Co., Ltd. și Wuhan Benha Mechanical & Electrical Co., Ltd. vând produse într-un număr mai redus în întreaga lume. Mașini unice multifuncționale care prin schimbarea unor componente pot fabrica produse prin diferite procedee. Aceste mașini sunt destinate mediului universitar sau unui laborator mai mic. Unele companii au dezvoltat sisteme de stereolitografie, de sinterizare, laminare, sau de fuziune care lucrează în domeniul prototipării rapide prin congelare. Cele din urmă utilizează apă înghețată pentru a crea obiecte.

Corea

Guvernul Corean a sprijinit cercetarea în domeniul fabricării aditive de mulți ani, iar activitatea începe să migreze în sectorul comercial. Menix Co., Ltd vinde sistemul Variable Lamination Systems dezvoltat de KAIST. Utilizează un fir pentru a tăia straturi din spumă de polistiren. Este destinat fabricării modelelor de dimensiuni mari și este urmașul mașinii firmei Sparx numit Hot Plot, una dintre primele tehnologii de prototipare. Insstek comercializează un proces de formare din pudră cu ajutorul unui laser, tehnologie dezvoltată de Korea Institute of Machinery and Materials (KIMM).

Singapore

Kinergy a introdus în 1996 un sistem bazat pe fabricarea obiectelor prin laminare, sistem foarte asemănător cu cea a firmei Helisys. Compania oferă sisteme multifuncționale precum cea de laminare și de fuziune.

1.4.5. Realizări de referință în utilizarea prototipării rapide pe plan mondial

Imprimarea 3D

Imprimarea tridimensională, cum arată Figura 1.24, este un procedeu de prototipare rapidă ce se dezvoltă la MIT.

În imprimarea 3D (3DP), un cap de imprimare cu jet de cerneală poate fi folosit pentru a injecta un liant într-un strat de pudră metalică. Partea legată, când este îndepărtată mai târziu, este o piesă „verde” cu o densitate relativ scăzută (densă în proporție de 50%). Apoi, piesa verde este încălzită și infiltrată pentru a obține o piesă metalică mai densă. Figura 1.25. arată un exemplu anterior a unei forme obținută în proces [WTE 08].

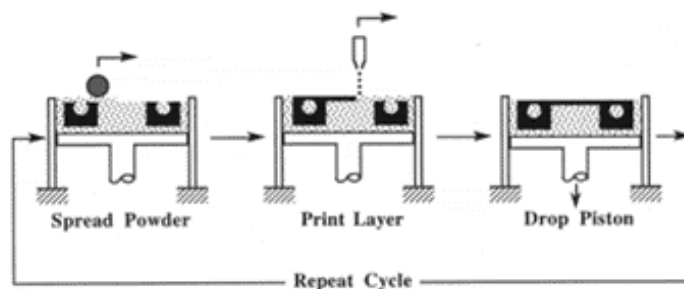


Figura 1.24. Schema a procedurii de imprimare 3D. [WTE 08]

Chiar și la acest nivel de dezvoltare, există niște caracteristici interesante în această formă. Această formă are canale interne de răcire, construite chiar în interiorul ei – ceva foarte greu de obținut prin procedeele standard de prelucrare. Figura. 1.26 arată o forma mai recentă, ilustrând progresele obținute. Această unealtă este făcută din bronz inoxidabil și piesele turnate în plastic prin injecție sunt nailon umplut cu sticlă [WTE 08].

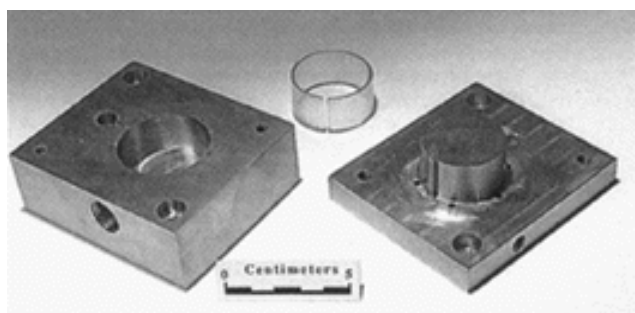


Figura 1.25. Forma imprimată în 3D arătând canalele de răcire interioară. [WTE 08]



Figura 1.26. Forma imprimată în 3D și racordurile rezultate din turnarea în forme. [WTE 08]

Sinterizarea selectivă cu laserul

Sinterizarea selectivă cu laserul (SLS) este un procedeu de prototipare rapidă, prima dată dezvoltat la „Universitatea din Texas”. Procedeu indirect de fabricare a pieselor de metal și formelor este disponibil comercial de la „DTM Corporation” [WTE 08].

În acest procedeu, pudrele metalice sunt învelite într-un liant termoplastic. Aceste pudre învelite sunt apoi topite împreună de un laser prin procedeul de SLS. Astfel se unesc pudrele de metal împreună pentru a alcătui componentele formei reprezentate de un fișier CAD, în acest fel producându-se o piesă verde. Piesa verde este apoi post-procesată într-un cuptor, unde liantul este ars, și pudrele metalice sunt unite prin mecanica tradițională de sinterizare.

Piesa care rezultă este numită piesa „maro”; expune geometrie dar este și de natură poroasă. Piesa „maro” este apoi infiltrată cu un al doilea metal pentru a constitui o formă complet densă. Figura 1.27 este o schemă a întregului procedeu. Figura 1.28. arată un miez și un set de scobituri care au fost create prin acest procedeu. Proprietățile acestei forme sunt similare cu cele ale aluminiului [WTE 08].

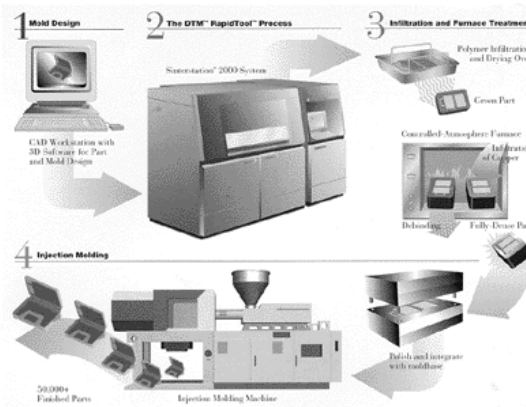


Figura 1.27. Procedeu Rapid Tool de la DTM pentru fabricarea rapidă a formelor [WTE 08]



Figura 1.28. Miez și seturi de scobituri produse de Rapid Tool. [WTE 08]

Metode de prototipare rapidă care pot fi folosite direct pentru fabricarea obiectelor de metal includ sinterizare selectivă cu laser, depunerea în forme, depunerea cu laser, și depunerea sub formă de picături. Depunerea sub formă de picături este sub dezvoltare la „Universitatea din California de Sud” și de asemenea la o companie numită „Incre”. Aceste tehnici folosesc jeturi controlate electronic pentru a depozita selectiv metalul topit. Prin folosirea laserelor cu temperatură ridicată și foarte puternice (>50 W), sinterizarea selectivă cu laser poate fi folosită la crearea straturilor metalice cu densitate ridicată. Fig 1.29. arată un strat de super-aliaj „Inconel 625” cu o densitate relativ ridicată (cam $125 \mu\text{m}$). Acest strat a fost format prin procedeul de SLS cu un laser „YAG Nd” la o putere de 60 W [INC 08], [ESP 08].

Cercetarea este în progres la Universitatea din Texas, folosindu-se acest procedeu pentru fabricarea pieselor metalice cu o densitate ridicată cu o varietate de pudre metalice și aliaje.

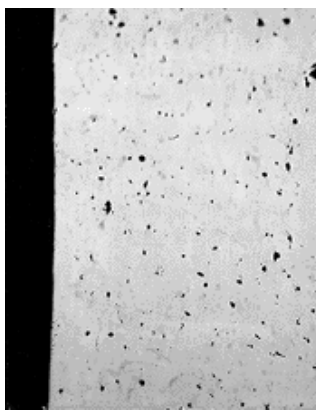


Figura 1.29. Stratul Inconel 625 format prin procedeul de SLS. [WTE08]

Depunerea în forme

Depunerea în forme este sub dezvoltare la „Universitățile Carnegie Mellon” și „Stanford”. Fabricarea depunerii în formă (SDM) prima dată depozitează stratele ca și forme aproape nete și apoi se prelucrează în mașini până la obținerea dimensiunilor exacte înainte de adăugarea materialelor adiționale.

Figura 1.30. arată o piesă produsă prin acest procedeu. Piesa nu are încă trasaturi detaliate, dar e compusă din două materiale diferite: un miez din oțel inoxidabil și o carcasă exterioară cu încreștări din cupru (nu e vizibil în figura). Multe materiale permit construirea componentelor integrate într-o singură operațiune [WTE 08].

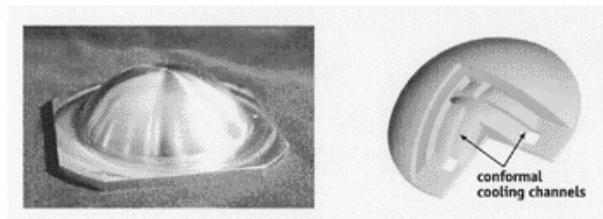


Figura 1.30. Structura din cupru și oțel inoxidabil construit prin SDM. [WTE 08]

Depunerea cu laserul

Figura 1.31 este o schemă a procesului de depunere cu laserul, care se dezvoltă în „Laboratoarele Naționale Sandia”, acest procedeu este constituit dintr-un sistem de livrare a pudrei și un fascicul de laser; livrarea pudrei este menită să se intersecteze simultan cu livrarea laserului, pentru a construi obiectele în stil stratificat. În esență, procedeul consistă în sudarea în 3D cu laserul. Figura 1.32. arată obiectele create prin procedeul de depunere cu laserul al celor de la Sandia. Sunt obținute din aproape 100 % oțel inoxidabil [WTE 08].

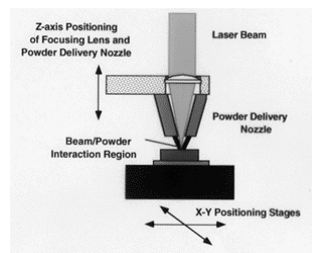


Figura 1.31. Schema unui procedeu de depunere cu laserul [WTE 08]

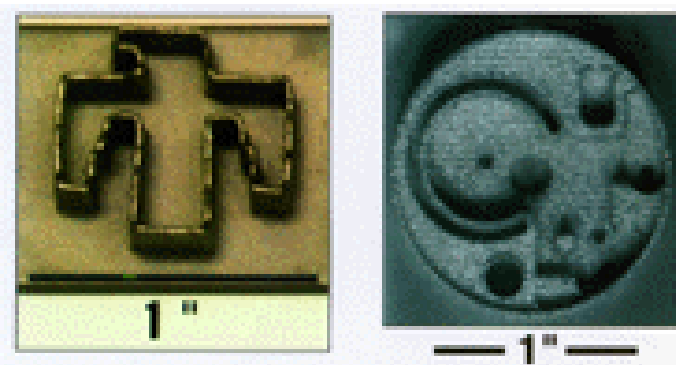


Figura 1.32. Obiecte din oțel inoxidabil create prin procedeul de depunere cu laserul a celor de la Sandia. [WTE 08]

1.4.6. Rețeaua Fraunhofer de Prototipare Rapidă

Există un număr de surse de fonduri în creștere în Comunitatea Europeană (EC) pentru prototipare rapidă cu metale. Deși există cu siguranță alte proiecte pentru prototipare rapidă a sunt arătate în tabelul 1.4. [WTE 08].

Proiectele europene R&D pentru prototipare rapidă cu metale Tabelul 1.4.

Agentie	Proiect
Guvernul German	Alianța Strategică Fraunhofer pentru Prototipare Rapidă (aka Rapid Prototyping Network)
EC (BRITE EuRAM)	Dezvoltarea tehnologiilor de prototipare rapidă bazate pe sinterizare cu laserul
Statul Baden - Wurtemberg	Prelucrare Generativă (PR a prelucrării utilajelor)

La ora actuală există 46 de institute „Fraunhofer” în Germania, 3 Centre de Resurse „Fraunhofer” în Statele Unite (în Ann Arbor și Boston), și altele câteva în întreaga lume. Dintre acestea, șapte s-au aliat între ele sub numele de Rețeaua Fraunhofer de Prototipare Rapidă: Institutul de Tehnologie Chimică (ICT) din Berghausen; Institutul pentru Date Grafice (IGD) din Darmstadt; Institutul pentru Tehnologia cu Laser (ILT) din Aachen; Institutul pentru Ingineria de prelucrare și Automatizare (IPA) din Stuttgart; Institutul pentru Tehnologia Construcției și Producției (IPK) din Berlin și Institutul pentru Tehnologia Producției (IPT) din Aachen. Scopul aceste rețele este dezvoltarea, progresul și diseminarea tehnologiilor inovatoare de prototipare rapidă. [WTE 08]

Odată terminat, programul EC BRITE EuRAM a investigat tehnologiile existente de prototipare rapidă în combinație cu noi laturi de procedee. Printre partenerii de proiect se numărau Institutul pentru Testare și Știință a Polimerilor (IKP) de la Universitatea din Stuttgart, UPC Barcelona, DPS Turin, EOS și Microtechnia. Sarcini speciale în acest proiect includeau modelarea procedurii și testarea modelului, optimizarea sinterizării cu laser, designul avansat al unui post de muncă, și fabricarea rapidă a uneltelor.

BLZ (Centru de Laser Bavarez) BLZ și-a început operațiunea în ianuarie 1994. Mandatul acestui centru este transferul cercetării universitare din aria prelucrării bazate pe laser în industrie, mai ales în companiile mici și mijlocii. Anumite cercetări de prototipare rapidă a metalelor pe care se concentrează cei de la BLZ sunt sinterizarea selectivă cu laserul și laminarea plăcilor tăiate cu laserul. BLZ lucrează de asemenea și la laminare, în care secțiuni individuale sunt decuparea cu laserul din placi metalice și apoi stivuirea și lipirea laolaltă pentru a forma incorporarea uneltei (sau a piesei). Partenerii celor de la BLZ pentru sinterizarea cu laser sunt EOS.

Împreună lucrează la îmbunătățirea mașinilor și procedeele pentru o mașina EOS de sinterizat metal ce folosește un aliaj Electrolux din bronz și nichel. BLZ se concentrează pe dezvoltarea unui laser cu fascicul dublu care are un fascicul central pentru sinterizare și un câmp înconjurător pentru preîncălzire. Piesele sunt mai apoi infiltrate cu aliaj de lipit pentru a obține rezistente mai mari.

EOS este o companie germană, prelucrează și vinde trei modele de mașini de stereolitografiere și trei categorii de mașini de sinterizare. Una dintre aceste mașini de sinterizare, EOSINT M este destinată pudrei metalice. Pudra metalică specifică pe care EOS o folosea a fost o versiune modificată a aliajului de bronz și nichel

dezvoltat și patentat de Electrolux pentru prelucrarea pieselor cu dimensiune precisă ce foloseau tehnici de sinterizare fără presare. Figura 1.33. este o imagine a unei mașini EOS de sinterizare și figura. 1.34 arată elementele de intercalație ale formelor sinterizate cu laserul făcute din material Electrolux și dintr-un material metalic dur dezvoltat la IFAM.

Institutul Fraunhofer pentru Tehnologia Chimică (FhG ICT)

ICT a fost creat în 1959 pentru a furniza cercetare și expertiză armatei germane pentru explozibilul bazat pe chimicale. [WTE 08]

Odată cu terminarea „războiului rece”, misiunea sa a fost extinsă să includă probleme chimice industriale. Deși expertiza materialelor ICT-ului este cu precădere în polimeri, și nu în metale, are un program activ de cercetare în metoda indirectă de fabricare a pieselor metalice și sculelor cu pudre metalice învelite în polimeri în procedeul de sinterizare cu laserul.



Figura 1.33. Mașina EOS de sinterizare cu laser [WTE 08]

Pentru cercetarea metalică, ICT are un dispozitiv experimental de sinterizare cu laser echipat cu un laser YAG Nd de 100 W. Pentru controlul temperaturii din mediu, punctul de focalizare al laserului este înăuntrul unui cuptor. Cel mai urgent program este producerea de învelișuri foarte subțiri pentru pudrele metalice pentru a fi folosite ca materiale brute pentru mașinile de sinterizare cu laser.

O altă pornire este de a prevedea învelișului o textură controlată. Cercetătorii de la ICT speră să folosească structurarea pentru a reduce cantitatea de înveliș necesară pentru piesele verzi și astfel să se reducă strâmtarea după o a doua încălzire a piesei verzi. Speră să reducă cantitatea de liant de polimer la 1 wgt %.

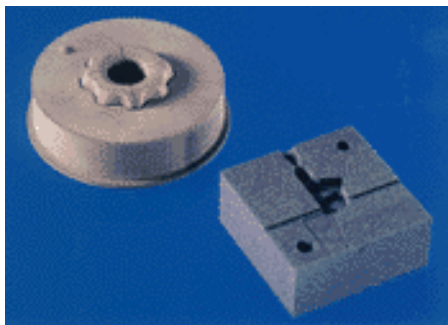


Figura 1.34. Elementele de intercalație ale formelor sinterizate cu laserul: (stânga) material Electrolux; (dreapta) metal dur (dezvoltat la IFAM) [WTE 08]

O arie de interes este învelișul în carbon a particulelor de fier. După sinterizare în cuptor, ei speră să obțină o structură de oțel cu o densitate completă. Aliajele de metal de interes pe termen lung sunt acelea din industria de prelucrare actuală.

Institutul Fraunhofer pentru Cercetarea Materialelor Aplicate (FhG IFAM)

Cercetătorii IFAM au început să dezvolte planuri pentru cercetarea prototipării rapide în 1991. IFAM are misiunea de a servi industria mondială. În prototipare rapidă, aceasta misiune se extinde la dezvoltarea soluțiilor orientate spre aplicații, la probleme industriale, integrarea sistemelor pentru industrie, și educația și training-ul personalului industrial. IFAM lucrează cu EOS pentru dezvoltarea sinterizării metalului. În această privință, au o mașina EOSINT 160. Această unitate are un laser CO₂ de 100 W și un volum construit de 160 mm³. Aceasta unitate nu este echipată cu preîncălzire pentru pudră sau cu un mediu inert de gaz. [WTE 08]

Cercetările IFAM-EOS se concentrează pe pudră Electolux de bronz și nichel. IFAM îndeplinește cercetările de infiltrație cerute pentru piesele acestui sistem. Piesele sunt infiltrate cu aliaj de lipit din PbAg₂Sn₂ cu un punct de topire de 315°C. Piesele făcute prin acest procedeu s-au folosit ca forme pe injecție. Dezvoltarea este în curs de aflare a infiltrațiilor fără plumb. Pe lângă munca sa cu EOS, IFAM dezvoltă un proces de solidificare multifazică a jetului (MJS) în cooperare cu FhGIPA (Greulich 1995).

Procedeuul MJS este similar cu procedeuul modelării de depunere topită a celor de la Stratasys (FDM). În procedeuul MJS, un polimer (ceară) este încărcat cu pudra metalică cu volum de 50% și apoi extras printr-o duză pentru a construi o piesa metalică verde. Piesa verde din Figura 1.35. este mai apoi procesată într-un fel similar celorlalte metode metalice indirecte.

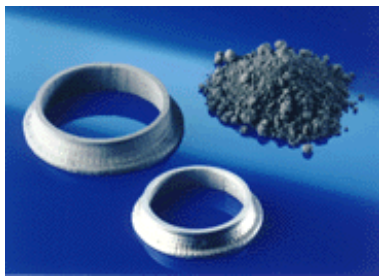


Figura. 1.35. Piese 376L produse în procedeele de MJS la IFAM (în sensul acelor de ceasornic din dreapta sus): granulat, piesa verde, piesa sinterizată. [WTE 08]

Institutul Fraunhofer pentru Ingineria Prelucrării și Automatizare (FhG IPA)

În 1988 IPA a început un grup de dezvoltare a prototipării rapide în cadrul Departamentului sau de Procesare a Informației. IPA are câteva proiecte guvernamentale din sponsorizare de industrie, inclusiv Rețeaua de Prototipare Rapidă. Aceasta rețea are avantajul a 20% din eforturile de prototipare rapidă a IPA. Cercetarea lor inițială în metale, aparține muncii în tandem cu IFAM pe sistemul MJS. IPA este responsabil pentru promovarea software-ului, iar IFAM pentru cea a obiectelor de metal, cu scopul comercializării sistemelor de generație viitoare [WTE 08].

Institutul Tehnologiei Producției (FhG IPT)

IPT a fost înființat în 1980 lângă Institutul Tehnic din Aachen și lângă Institutul de Prelucrare. Și-a început cercetările în prototipare rapidă în 1992. Începând cu acea dată IPT a dezvoltat două sisteme directe experimentale de prototipare rapidă a metalelor. Un sistem este un punct de lucru de sinterizare cu laserul echipat cu un laser YAG: Nd de 300 W, în mod normal operat la 200 W. [WTE 08]

Fasciculul este mutat cu un sistem de oglinzi de scanare aflat deasupra camerei de lucru pentru a furniza o arie de lucru cu diametru de 100 mm care poate fi învelit cu un gaz protector. Sistemul nu e conceput să suporte o atmosferă în camera de lucru.

Această unitate se folosește la sinterizarea directă cu laserul a pudrelor metalice neînvelite, inclusiv bronz-nichel, aluminiu, cupru și oțel inoxidabil. Cu această unitate IPT a obținut până la 90% din densitatea teoretică. Figura 1.36 arată o piesă-mostră din acest sistem. [WTE 08]

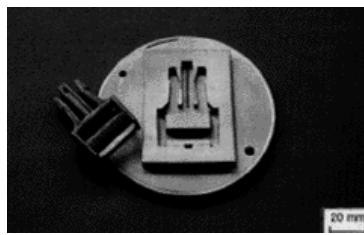


Figura 1.36. O piesă metalică direct, fabricată într-un sistem de sinterizare cu laserul în IPT [WTE 08]

Al doilea sistem experimental al IPT-ului, numit PR generată cu laserul, este conceput să topească pudra de metal pe măsura ce curge din conul coaxial de distribuție laser /pudră. Acest procedeu este o variantă a depunerii cu laser.

Alte conuri concentrice din proces livrează gaz învelit și fluide pentru răcire. În acest cadru experimental se pot folosi fie un laser de 900 W CO₂, fie un laser YAG:Nd de 1000W. În camera de lucru se află o freză pentru a finisa straturile și a îmbunătăți toleranțele. IPT plănuiește să dezvolte comercial acest sistem cu o companie germană în următorii ani. Figura 1.37 arată o versiune anterioară a acestui sistem [WTE 08].



Figura 1.37. Procedul de PR generată cu laserul. [WTE 08]

Institutul Fraunhofer pentru Tehnologia Laserului (ILT), este și el implicat ca sprijin în aceste proiecte.

Prototiparea rapidă, cunoscută și sub denumirea de fabricare a formelor libere solide este o tehnologie care preia desenul virtual (modelele 3D CAD) și transformă obiectul în secțiuni transversale. Apoi softul prototipării rapide creează fiecare secțiune transversală înșirând straturi succesive de lichid și alte tipuri de pudre care fuzionează împreună și se solidifică pentru a crea forma finală care reprezintă un model aproape identic. Fabricarea formelor libere solide îndeplinesc un set de procese de manufacturare capabile de a produce obiecte solide complexe direct de la modelul unui obiect pe calculator fără a specifica uneltele sau orice alt proces de manufacturare. Majoritatea proceselor de prototipare rapidă sunt procese însumate.

Prototiparea rapidă poate reprezenta o fabrică în miniatură care aduce cu ea totul, de la mânăuirea materialelor la informație și la procesarea materialelor care vor reduce costul și timpul de dezvoltare al produsului.

2. CLASIFICAREA ȘI ANALIZA TEHNICILOR DE PROTOTIPARE RAPIDĂ

2.1. Stereolitografia

Pentru a înțelege mai bine cum funcționează procesul de stereolitografie se poate face o paralelă între aceasta și procesul de imprimare. În cazul unor imprimante cu laser calculatorul este cel care coordonează fasciculul de laser, urmând ca prin depunere de linii succesive să se obțină pagina printată, la fel în procesul de stereolitografiere avem un calculator care direcționează fasciculul de laser într-o incintă plină cu polimer fotosenzitiv, unde laserul v-a solidifica straturi succesive de material rezultând piesa 3D.

Stereolitografia (figura 2.1.) este o tehnologie de prototipare rapidă și de fabricație rapidă care are scopul de a produce repere de calitate cu finisaj de suprafață bună și se realizează cu aparatură de stereolitografiere. [STI 01]

Este o tehnologie de fabricație aditivă care utilizează, o baie de lichid din fotopolimer, ce este tratat de un laser UV pentru a construi mai multe straturi care vor compune reperul. Pe fiecare strat, fasciculul de laser trasează modelul secțiunii transversale a reperului pe suprafața lichidului fotopolimeric. Expunerea modelului trasat la lumina ultravioletă conduce la solidificarea acestuia și la aderența la stratul anterior depus. După ce a fost trasat un șablon, platforma de lucru va coborî cu o grosime de strat, acestea fiind de 0,05..0,15mm, urmat de trecerea unui cuțit, plin cu rășină, peste secțiunea transversală a reperului, aducând material nou. Pe această suprafață nouă se trasează modelul următor, care aderă la stratul anterior. Astfel se v-a forma o piesă completă, care v-a trebui curățată de excesul de rășină, prin imersie într-o baie chimică, urmat de introducerea modelului obținut într-un cuptor cu raze ultraviolete pentru realiza întărirea acestuia. Stereolitografia necesită utilizarea structurilor de suport pentru a atașa reperul de platforma mobilă, respectiv pentru a preveni deflectarea unor părți geometrice, datorită gravitației, dar și pentru a menține invariant secțiunile transversale sub acțiunea cuțitului ce realizează învelirea. Aceste structuri sunt generate automat când modelele 3D sunt pregătite pentru utilizare pe sistemele de stereolitografiat, iar la finalul procesului trebuie înlăturate manual [NOR 01].

Printre avantajele stereolitografiei se numără viteza de producție variind de la câteva ore până peste 24 de ore, viteză de fabricație ce depinde de mărimea reperului și complexitatea geometrică a acestui. Prototipurile rezultate în urma acestui proces sunt destul de rezistente încât pot fi prelucrate ulterior, ele pot servi ca și șabloane pentru diferite procedee de turnare, injectare. Se pot obține geometrii foarte complexe, dar procesul în sine este costisitor, prețul fotopolimerul fiind printre 300 și 800 de dolari la 4 litrii, iar prețul unei mașini de stereolitografiat poate să ajungă de la 100.000 la 400.000 de dolari.

Procedeeul ilustrat în figura de mai jos este utilizat de 3D Systems. Inițial o masă (A), ce se deplasează pe axa Z, este poziționat inferior suprafeței incintei (B), plin cu lichid fotopolimeric (C). Sub acțiunea unei lumini de o anumită culoare lichidul se solidifică, în cazul fotopolimerilor se utilizează o lumină ultravioletă, dar

poate fi utilizat și rășină ce reacționează doar cu lumina vizibilă. Sistemul este închis pentru a evita scăpările de fum și de rășină.

Pentru a trasa modelul secțiunii transversale al obiectului, se mișcă un laser deasupra lichidului fotopolimerizabil care solidifică materialul în zona de incidență a fascicolului.

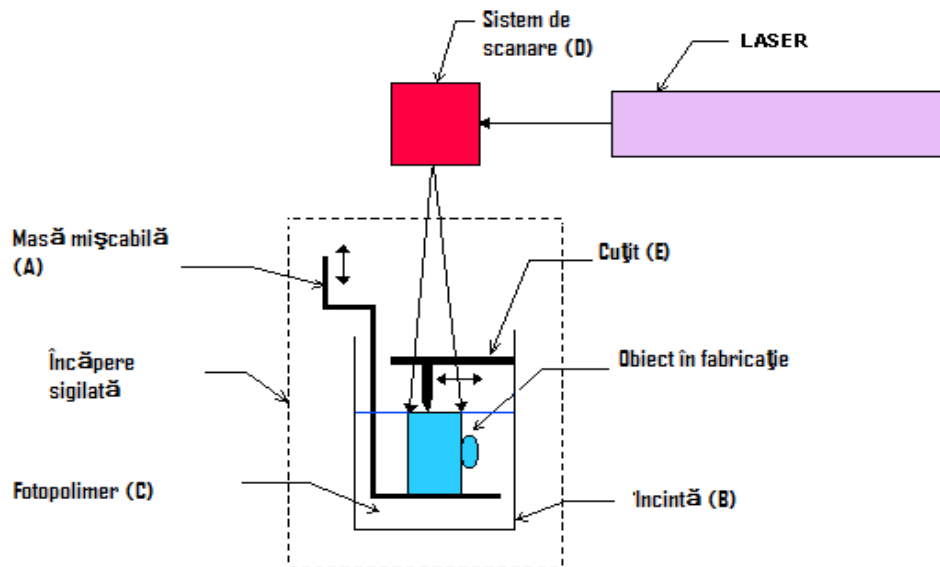


Figura 2.1. Schema de principiu de Stereolitografie [WIL 02]

Mișcarea pe axele X-Y a laserului este realizat de un sistem de scanare (D). Acest sistem de scanare constă din motorase foarte controlabile care deplasează oglinzi conform informațiilor furnizate de un calculator.

Exactitatea modelului trasat de laser se datorează combinației dintre informația conținută de un model CAD și informația furnizată de la programul mașinii care încearcă să optimizeze fabricația reperului.

După trasarea modelului și solidificarea unui strat de fascicolul de laser, masa va coborâ în incintă cu o distanță egală cu grosimea unui strat. Aceasta este urmat de realimentarea zonei de lucru cu material și de netezirea suprafeței de lucru cu ajutorul unui cuțit (E). Mai recent alimentarea se realizează prin sisteme de pompare. Etapele de modelare, solidificare și realimentare sunt repetate până când se obține reperul poziționat pe masa de lucru.

Piesele care prezintă degajări și canale necesită structuri de susținere, care de obicei sunt proiectate automat sau manual.

După ce procesul de fabricare s-a completat, masa de lucru se ridică iar obiectul este lăsat să se usuce. Materialul în exces de pe suprafața reperului se îndepărtează manual. De obicei piesa necesită un tratament ulterior de uscare și întărire, astfel ea se introduce într-un cuptor numit Aparat de Solidificare Ulterioară, unde este încălzită într-o lumină intensă. Unele dintre rășini și procedee de stereolitografie nu necesită acest tratament.

După tratamentul final suporturile sunt înlăturate, se aplică nisip pe suprafețele reperului sau se finisează.

Stereolitografia este considerată ca fiind procesul de prototipare rapidă care oferă cea mai bună acuratețe, respectiv cea mai bună calitate a suprafeței, câteva exemple sunt redată în figurile 2.2 – 2.8.[WOR 07]



Figura 2.2. Suprafață rezultată prin stereolitografie



Figura 2.3. Statuie realizată prin stereolitografie



Figura 2.4. Model pentru injectare de investiție, cu o ruptură pe secțiune pentru a ilustra structura interioară



Figura 2.5. Modele chirurgicale și proteze pentru aplicații maxilofaciale și orale

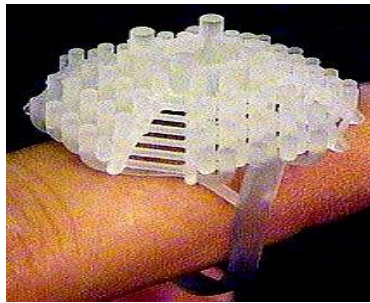


Figura 2.6. Model pentru inele



Figura 2.7. Model polaragrafic, utilizat pentru studiul unor solicitări



Figura 2.8. Reper vopsit, destinat studiului designului industrial

Aaroflex Solid Imager- este o mașină de Prototipare Rapidă comercializată de Aaroflex (figura 2.9.), care produce modele 3D pe baza fișierelor din CAD, Tomografia Computerizată și imagini obținute prin rezonanță magnetică, solidificând piesele cu ajutorul unui laser dirijat de calculator [AAR 07].

Procesul prin care se obține modelul 3D este stereolitografia numită și printarea 3D. Datorită acestei tehnologii de prototipare rapidă se pot obține modele solide sau subțiri, cu pereți aproape transparentți cu detalii ridicate la un cost și viteză de producție redusă.

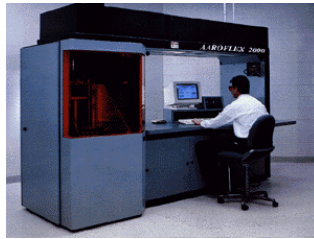


Figura 2.9. Aaroflex Solid Imager [AAR 07]

Mașina poate fi prevăzută cu un laser ce funcționează în mediu gazos (Heliu, Cadmiu sau Argon), sau cu unul care funcționează în mediu solid. Capacitatea portantă a mașinii variază de la 7", respectiv diametre de 36" și înălțimi de 20".

Un alt sistem de stereolitografiat este VIPER HA, mașină comercializată de firma 3D Systems. Mașina este utilizată pentru fabricarea învelișului aparatelor de auzit (figura 2.10) [3DS 07].



Figura 2.10. Înveliș pentru aparate de auzit [3DS 08]



Figura 2.11. VIPER HA sistem de stereolitografie [BUS 08]

Date tehnice VIPER HA:

Laser

Tipul Solid-state Nd:YVO4
Lungimea de undă 354.7 nm
Puterea disponibilă 100 mW
Garanție pentru Laser 7500 ore sau 12 luni

Sistemul de construire

Process Zephyr™
Capacitatea de construire a straturilor* Minimum — 0.05 mm (0.002 in)
Tipic — 0.1 mm (0.004 in)

Scanare și proprietățile optice

Fascicolul (diametru @ 1/e2)
Standard 0.250 +/- 0.025 mm (0.010 +/- 0.001 in)
Rezoluție mare 0.075 +/- 0.015 mm (0.0030 +/- 0.0005 in)

Ascensor

Rezoluție pe verticală 0.0025 mm (0.0001 in)
Repetabilitatea poziției 0.0076 mm (0.0003 in)
Viteza de construcție a reperului 5 mm/sec (0.2 in/sec)

Dimensiunile ce pot fi obținute

Capacitatea maximă
Mod standard 250 x 250 x 50.8 mm XYZ (10 x 10 x 2 in)
Mod HR 125 x 125 x 50.8 mm XYZ (5 x 5 x 2 in)

Sistemul de control și programul

Programul de control Buildstation™ software
Sistemul de operare Windows XP Professional
Informația de intrare sub formă de fișier .stl, .slc
Tipul rețelei și protocol de tip Ethernet, IEEE 802.3 10/100 Base-T

Putere

100 - 120 VAC +/-10% 50/60 Hz, 6 amps 15 amp, 115V
220 - 240 VAC +/-10% 50/60 Hz, 3 amps 8 amp, 230V
Puterea UPS 2KVA minimum

Temperatura ambiantă

Limitele de temperatură 23°C +/- 3°C (73°F +/- 5°F)
Rata de schimbare maximă 1°C/oră (3.4°F/oră)
Umiditatea relativă 20 - 50%, non condensing

Dimensiuni

Mașină ambalată(WDH) 168 x 102 x 211 cm (66 x 40 x 83 in)
Mașină neambalată (WDH) 134 x 86 x 178 cm (52.5 x 33.5 x 70 in)

Gabarit

Mașină ambalată 564 kg (1242 lb)
Mașină neambalată 463 kg (1020 lb)

2.2. Sinterizare selectivă cu laser

Sinterizarea selectivă prin laser a fost inventată de Dr. Carl Deckard de la universitatea din Texas-Austin în mijlocul anilor 1980 [RED 06].

Sinterizarea selectivă prin laser este considerat o tehnică de fabricare rapidă care se folosește de un laser de putere înaltă (CO₂) pentru a îmbina particule mici ai unui praf de plastic, metal, sau ceramic, cu scopul de a obține un obiect fizic tridimensional. Laserul îmbină selectiv praful de material pe suprafața materialului

prin scanarea secțiunilor generate a unor piese 3D digitale. După scanarea fiecărei secțiuni, patul de praf este coborât cu o distanță egală cu grosimea stratului generat, urmând să se aplice un nou strat de praf de material, procesul reluându-se până când se obține modelul vizat.

În comparație cu celelalte tehnici de fabricație rapidă, sinterizarea selectivă prin laser poate produce modele dintr-o varietate mare de materiale granulate cum ar fi: polimeri, materiale metalice, și ceramice. Procesul fizic de sinterizare poate să decurgă prin topire întregă, parțială, sau sinterizare în fază lichefiată. Productivitatea metodei este asigurată de numărul mare de piese ce pot fi obținute din patul de praf.

Această tehnologie este destul de răspândită mondial datorită ușurinței cu care poate produce piese cu geometrie complexă direct din informație digitală. La început era utilizat pentru producerea de prototipuri, iar recent se folosește pentru producerea de unicate. Aplicația are o creștere neașteptată în domeniul artei.

Ca și principiu, (figura 2.12.) acest proces este similar procesului de stereolitografiere, iar metoda în sine este redată în figura de mai jos. Însă în acest caz fasciculul de laser este proiectat pe suprafața unui material termoplastice sub formă de pulbere compactizat (A). Pulberele este împrăștiat de o rolă (B) pe suprafața unui cilindru de construcție (C), iar după formarea unui strat, se coboară cu o distanță egală cu grosimea acestuia, sub acțiunea unui piston (D), astfel se poate depune un nou strat de material.

Sistemul de alimentare este similar celui de construcție fiind alcătuit dintr-un cilindru de alimentare (E) și un piston care se v-a urca pentru a împinge praful fotopolimeric în fața cilindrului de alimentare (Rolei).

Sistemul de scanare (F) este cel care determină punctul de incidență a fasciculului de laser care v-a produce destulă energie termică pentru a topi praful fotopolimeric. Laserul v-a produce un fascicul infraroșu concentrat. Încăperea de lucru este sigilată și menținută la o temperatură inferioară celei de topire a plasticului. Astfel procesul este accelerată deoarece laserul trebuie să mărească cu puțin temperatura pentru a provoca sinterizarea. În proces se utilizează un gaz de nitrogen pentru a preveni posibile explozii în timp ce se lucrează cu cantități mari de praf.

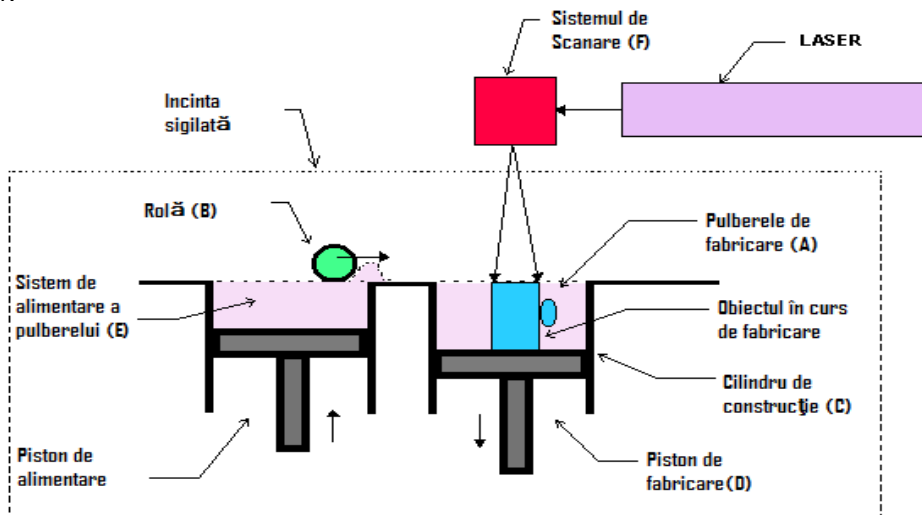


Figura 2.12. Sinterizare selectivă cu laser [HOM 06] [PHA 05]

După ce s-a format în întregime obiectul, pistonășul se ridică pentru eliberarea acestuia și examinare, însă trebuie să treacă un anumit timp pentru a permite răcirea piesei, de ex. În cazul obiectelor mari și subțiri acest timp de răcire poate să ajungă chiar la 2 zile. Îndepărtând restul de material se pot executa finisări ulterioare.

Nu sunt necesare suporturi deoarece rolul acestora este preluată de praful solid, astfel se mai reduce timpul necesar pentru finisare. Piesele nu mai necesită un tratament de întărire ulterior, ca și în cazul stereolitografiei, dar obiectele obținute sunt poroase datorită sinterizării. Pentru a îmbunătăți caracteristicile mecanice ale piesei se infiltrează în aceasta un alt material. Procesul a fost perfecționat dealungul anilor, aceasta fiind capabil să producă piese și modele din materiale ceramice și metalice.

Câteva piese obținute prin sinterizare selectivă cu laser sunt prezentate în figurile 2.13. – 2.17.

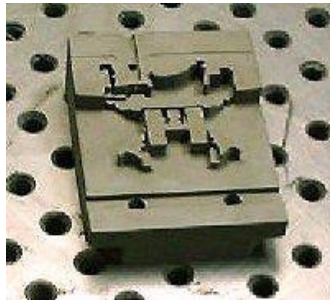


Figura 2.13. Insertie de oțel



Figura 2.14. Insertii în creuzet pregătite pentru infiltrarea cu bronz



Figura 2.15. Insertie de oțel lustruit pregătit pentru injectare în matriță



Figura 2.16. Mască pentru paintball



Figura 2.17. Modele de turnare și repere obținute în urma turnării

Câteva exemple de mașini de sinterizat, comercializate de 3D Systems (figura 2.18):



Figura 2.18. Sistemul Pro DM100SLM [3DS 07]

Dimensiunile maxime ce pot fi obținute 250 x 250 x 220 mm (xyz) 10 x 10 x 8.7 inci (xyz)

Viteza de construire 30 cm³ pe oră până la 2 în³ pe oră

Viteza de scanare 10 m/sec până la 400 inci/sec

2.2 – Sinterizare selectivă cu laser

Grosimea stratului 50 or 75 micron 0.002 sau 0.003 inches
Diametrul fascicolului de laser 80 to 350 micron 0.003 până la 0.014 inches
Opțiuni de laser 100, 200 or 400 Watt
Dimensiuni externe 1900 x 1400 x 2500 mm 75 x 55 x 100 inches
Gabarit 800 kg 1800 lbs
Sursa de putere 208 Volt, 3 fază, 50/60 Hertz, 16 Amp, 12.5 kVA



Figura 2.19. Sistemul Pro DM250 SLM [SIN 07]

Dimensiunile maxime ce pot fi obținute $\varnothing 125 \times 80$ mm (diametru și z) $\varnothing 5 \times 3$ inci (diametru și z)

Viteza de construire 30 cm³ pe oră până la 2 in³ pe oră

Viteza de scanare 10 m/sec până la 400 inci/sec

Grosimea stratului 30 sau 50 micron 0.001 sau 0.002 inci

Diametrul fascicolului de laser 30 până la 200 micron 0.001 până la 0.008 inci

Opțiuni de laser 50, 100 sau 200 Watt

Dimensiuni externe 900 x 800 x 2500 mm 36 x 32 x 100 inci

Gabarit 400 kg 900 lbs

Sursa de putere 208 Volt, 3 fază, 50/60 Hertz, 16 Amp, 12.5 kVA



Figura 2.20. Sistemul Sinterstation Pro [SIN 07]

Volumul de lucru maxim (XYZ)
 Sinterstation Pro 140 140 liters; 550 x 550 x 460 mm
 (approx. 22 x 22 x 18 in)
 Sinterstation Pro 230 230 liters; 550 x 550 x 750 mm
 (approx. 22 x 22 x 30 in)
 Grosimea stratului (DuraForm PA/GF) 0.1 mm (0.004 in)
 System de scanare digital, cu calibrare automată
 Viteza de scanare 10 m/sec. (approx. 400 in/sec)
 Laser 70 watt CO₂
 Controlul termal numit Intelligent Thermal Control ce permite monitorizarea în timp real

2.3. Formare unor rețele cu laser (Laser engineered net shaping)

Această tehnologie permite fabricația pieselor în întregime metalice la viteze destul de rezonabile. Mai multe variații, ale acestei tehnologii, au fost cercetate și puse în aplicație atât în SUA cât și în Europa, majoritatea acestora fiind denumite cu termenul *îmbinare cu laser*. În figura de mai jos este prezentată metoda aplicată de Sandia National Labs și comercializată de compania Optomec Design (figura 2.21) [HOM 06].

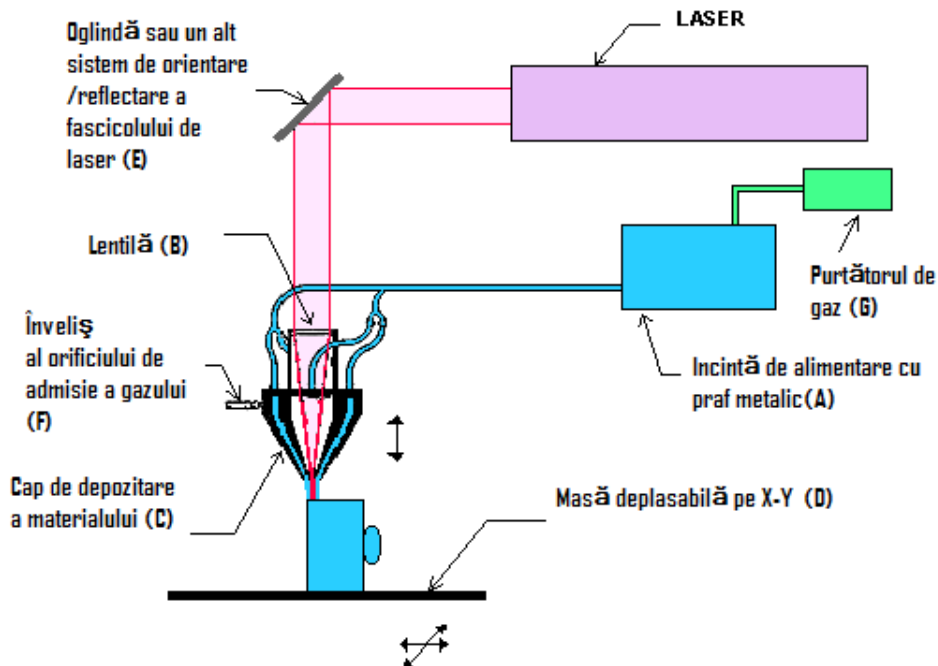


Figura 2.21. Scheme de principiu pentru formare unor rețele cu laser [HOM 06]

Topirea materialului de bază se face cu ajutorul unui laser de putere înaltă, materialul fiind alimentat coaxial cu fasciculul de laser, cu ajutorul unui cap de depozitare (C). Fasciculul trece direct prin centrul capului de alimentare și este focalizat într-un punct micuț de una sau mai multe lentile (B).

Masa (D) deplasabilă pe X-Y poate fi mișcată prin metoda *roster* pentru fabricarea fiecărui strat al obiectului, iar capul este mișcat în sus pe Z după executarea fiecărui strat. Fasciculul de laser este deflectat asupra locului de lucru cu ajutorul unei oglinzi (E) înclinată spre dreapta, putând fi utilizată și fibră optică.

Praful metalic (A) este distribuit pe circumferința capului de alimentare, cu ajutorul gravitației sau folosind un gaz inert sub presiune (G). Chiar și în cazuri în care nu este necesar la alimentare, un gaz inert se poate utiliza pentru a proteja baia de metal topit de oxigen pentru a obține proprietățile dorite, și pentru îmbunătățirea adeziunii straturilor.

Ca și materiale de bază pot fi menționate oțelul inoxidabil, cupru, aluminiu, etc., dar cel mai interesant sunt materialele cu reacție cum ar fi titanul. Majoritatea sistemelor utilizează praf metalic, dar se poate lucra și cu fire subțiri, caz în care materialul se alimentează puțin dezaxat în fasciculul de laser.

Procesul se desfășoară într-o încălț controlată, cu scopul de a proteja atât procesul de împrejurimi cât și pe utilizatori de proces. Puterea laserului variază de la câteva sute de wați la 20 de KW, fiind dependent de material și de rata de alimentare.

Obiectele realizate vor necesita finisări ulterioare, n-au porozități având o structură și densitate bună, având proprietăți identice sau chiar mai bune ca materialul de bază. Această tehnologie are mai puține limitări, privind materialele, față de sinterizarea selectivă cu laser, nu mai fiind necesare tratamente ulterioare, și poate fi utilizat chiar pentru repararea modelelor.

Aplicațiile inițiale sunt concentrate pe repararea pieselor matrițelor de injectat și fabricarea unor piese de dimensiuni mari, din titan sau materiale exotice, pentru domeniul aerospațial.

Câteva repere obținute prin această metodă sunt prezentate în figurile 2.22 - 2.26:



Figura 2.22. Valvele unui motor din titanium



Figura 2.23. Implant de sold din titan



Figura 2.24. matriță de injectat



Figura 2.25. Matriță de injectat cu canale de răcire

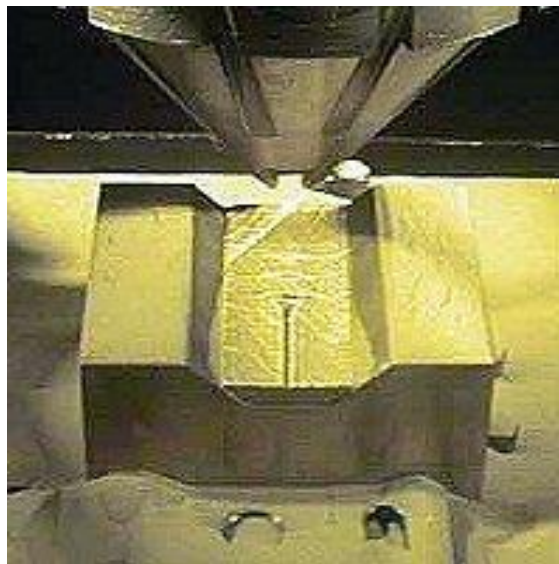


Figura 2.26. Matriță de injectat pentru ștanță

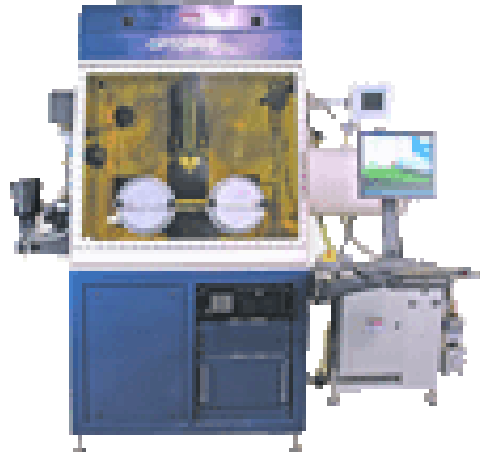


Figura 2.27. LENS 850-R [OPT 06]



Figura 2.28. LENS 750 [OPT 06]

Exemple de sisteme de la Optomec sunt reprezentate în figura 2.27. și în figura 2.28.

LENS 850-R se folosește pentru repararea componentelor metalice mijlocii și mari.

- 500W până la 2kW fibră laser;
- 3ft x 5ft x 3ft dimensiunile incintei de lucru (900mm x 1500mm x 900mm);
- De la 2.5 până la 7-axe de mișcare

LENS 750 se folosește pentru repararea componentelor metalice mici, fabricare de serie mică, îi foarte bun pentru producerea de prototipuri, pentru studiere de materiale.

- 500W up to 2kW puterea laserului, Nd:YAG sau fibră Laser 12in x 12in x 12i dimensiunile incintei de lucru(300mm x 300mm x 300mm);

2.4. Topire cu fascicul de electroni

Topirea cu fascicul de electroni este o metodă de prototipare rapidă pentru modele metalice. Prin această tehnologie se produc piese prin topirea granulelor metalice, formând straturi succesive, cu fascicul de electroni într-un spațiu vidat. Diferit de celelalte tehnici de sinterizare, piesele sunt solide, fără lipsuri de material și sunt extrem de rezistente. De multe ori se clasifică ca și o metodă de producție rapidă. Totodată se mai face referire ca fiind Mașinare cu fascicul de electroni. [ARC 06]

Electroni de viteză înaltă, ce depășesc viteza luminii de 5..8 ori, sunt bombardati pe suprafața materialului de lucru, generând destulă căldură pentru a produce topirea suprafeței materialului producând vaporizarea locală a materialului. Procesul trebuie să se desfășoare în vid, rezultatul fiind limitarea zonei de lucru. Calitatea suprafeței obținute este superioară celorlalte tehnici de producție. Această metodă poate fi utilizată pentru materiale metalice, ceramice și compozite.

Avantajele fascicolului de electroni este capacitatea de a produce tăieturi foarte precise, poate realiza găuri de ordinul nanometrilor. Topirea cu fascicul de electroni (figura 2.29) este o alternativă mai bună față de topirea cu fascicul de laser, deoarece oferă o finisare mai bună a suprafeței, respectiv zona influențată termic este mai redusă. Geometria piesei nu este considerat ca fiind o problemă singurul dezavantaj constă în limitarea dimensiunilor piesei la cea a incintei vidate.

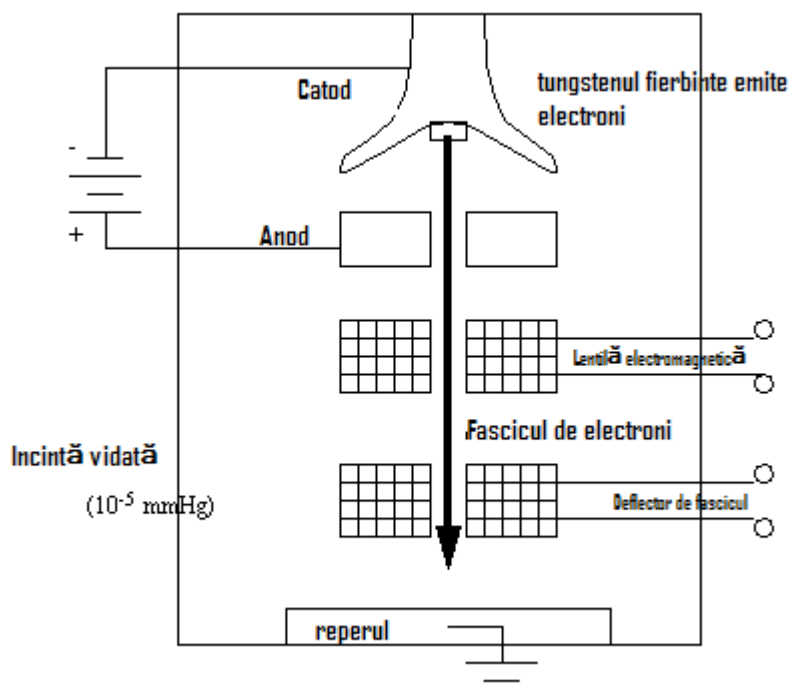


Figura 2.29. Topire cu fascicul de electroni [ARC 06]

Această metodă, de fabricare a unei forme oarecare solide, constă în producerea de părți metalice solide din granule metalice cu caracteristici ale materialului vizat. Mașina va citi datele de la un model 3D CAD, urmând să depună straturi succesive din material granulat, în acest mod se va construi modelul ca într-un final straturile care-l compun să fie îmbinate cu un fascicul de electroni controlat de calculator.

Materialul topit este dintr-un aliaj pur sub formă de granule care corespunde cu materialul final fabricat. Din această cauză această tehnologie nu necesită tratamente termice ulterioare pentru obținerea proprietăților mecanice stabilite a piesei. Totodată topirea cu fascicul de electroni are o rată de construire superioară față de cea a sinterizării selective cu laser, datorită metodei de scanare și densității de energie mai înalte. Grosimea stratului minim este de 0,05 mm.

Datorită utilizării răspândite a aliajelor de titan în această tehnologie, devine un candidat puternic în piața medicinei ce se ocupă cu producerea de implanturi.

Un exemplu de reper :



Figura 2.30. model din oțel făcut pentru testare



Figura 2.31. EBM S400 de la Stratasys [ARC 06]

Exemplu de sistem de la Stratasys (figura 2.31) [ARC 06]

EBM S400 Date tehnice

Volumul incintei de lucru (X,Y,Z)

10 x 10 x 8 inci (250 x 250 x 200 mm)

Dimensiunea maximă de construit (X,Y,Z)

8 x 8 x 7 inci (200 x 200 x 180 mm)

Materiale

Ti6Al4V Aliaj de titan

Ti6Al4V ELI Aliaj de titan

ASTM F75 Aliaj de cobalt și crom

Acuratețea

+/- .015 inci (+/- 0.4 mm)

Viteza de topire

Până la 60 cubic cm³ pe oră – depinde de material

Grosimea stratului

0.0019 to .0078 inci (0.05 to 0.2 mm) – dependent de material

Viteza de scanare a fascicolului de electron

Până la 1000 m/sec

Acuratețea de poziționare a fascicolului de electron

+/- 0.05 mm

Sursa

3 x 400 volți, 32 A, 7 kw

Dimensiuni

1850 mm lățime x 900 mm lungimea x 2200 mm înălțime)

Gabarit

1420 kg

Computer

PC, XP Professional

Interfața CAD

Standard: STL

2.5. Fabricarea obiectelor prin laminare

Din hârtie, cu ajutorul unui laser, se vor tăia secțiuni ai obiectului cum se vede în figura 2.32. Hârtie este desfășurată de pe o rolă de alimentare (A) și suprapusă pe straturile deja depuse, îmbinarea făcându-se cu ajutorul unei role încălzite (B). Această rolă are menirea de a încălzi stratul de lipici de pe spatele hârtiei. [KAI 98]

Profilele sunt urmărite de un sistem optic ce îi montat pe un traversă (C) ve se poate deplasa pe direcție X,Y. Procesul generează o cantitate mare de fum, astfel incinta de construcție trebuie prevăzută cu un sistem de aerisire și un sistem de filtrare (E). [RYD 02]

După ce s-a obținut forma geometrică corespunzătoare a unui strat, hârtia în exces este tăiat pentru a separa fâșia de strat. Fâșia rămasă este înfășurată pe o rolă de adunare (D). Zonele ce trebuie înlăturate de pe modelul final vor fi puternic hașurate de laser pentru a facilita îndepărtarea, deoarece pentru unele geometrii procesul de curățare poate fi destul de anevoios.

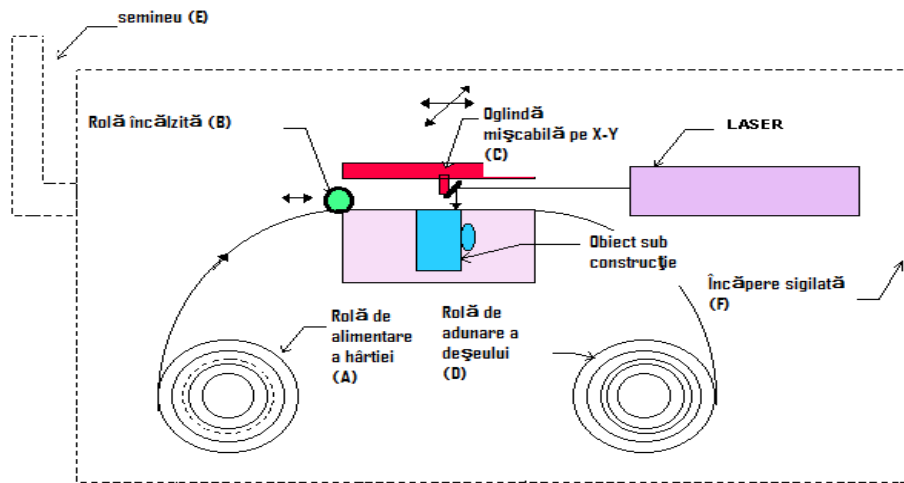


Figura 2.32. Fabricarea obiectelor prin laminare [KAI 98]

Finierea și acuratețea sunt inferioare în comparație cu alte metode, obiectele arată și au același simț ca și lemnul ele se pot finisa în același manieră.

Alte firme au înlocuit laserul cu un cuțit și au schimbat metoda de îmbinare a straturilor, de ex. În loc de hârtie folosesc fâșii de plastic care se îbină prin utilizarea unui solvent.

Calitatea suprafeței obținute este redată în figura 2.33:



Figura 2.33. Suprafață finisată rezultat în urma laminării

Repere obținute în urma acestui procedeu sunt prezentate în figurile 2.34 – 2.38:



Figura 2.34. Înlăturarea structurilor de suport



Figura 2.35. Reper din hârtie



Figura 2.36. Model pentru turnare



Figura 2.37. Statuetă fabricat cu Tru-Surf, tehnologie similară cu laminarea



Figura 2.38. Model ce ilustrează suprafața pământului

Exemplu de sistem (figura 2.39.): [SEL 08]



Figura 2.39. Helisys 2030H Model

Dimensiunile de lucru(810 x 555 x 500mm)

2.6. Modelare prin depunere îmbinată

Este un tip de metodă de prototipare rapidă sau fabricare rapidă, tehnologie des utilizată în domeniul design-ului ingineresc. Tehnologia a fost dezvoltată de S. Scott Crump pe la sfârșitul anilor 1980 și a fost comercializată în 1990. Această tehnologie este comercializată de Stratasys Inc.

Ca și majoritatea metodelor de prototipare rapidă se bazează pe principiul aditiv, prin depunerea de material în straturi (figura 2.40). Un filament plastic sau fir de metal se desfășoară și alimentează o duză de extrudare care poate să regleze fluxul de material. Duză este încălzită pentru a topi metalul sau plasticul, aceasta având posibilitatea de a se deplasa atât pe direcție verticală cât și pe orizontală, fiind controlat de un program special. Modelul este construit din straturi succesive de material, care se solidifică după extrudarea din duză.

Există o gamă largă de materiale ce pot fi utilizate: ABS, policarbonat, polifenilsulfat, ceară, etc. Material solubil în apă poate fi utilizat pentru suspendarea piesei în timpul fabricației. Acesta putând fi dizolvat într-o soluție încălzită de hidroxid de sodiu respectiv cu ajutorul agitației ultrasonice.

Modelare cu depozitare îmbinată a fost introdusă în lumea open source hardware cu creația unei mașini de extrudat a lui Dr. Adrian Bowyer numit Mk2. Această mașină reprezintă un pas major tehnologia Modelării cu depozitare îmbinată, datorită faptului că poate construi obiecte 3D la temperatura ambiantă. [BOW 07], [SEL 07].

Pe când această mașină a fost creat pentru extrudarea unui material plastic cu temperatura de topire scăzută (policaprolacton), recent s-a demonstrat că o versiune modificată a Mk2, cu un tub de extrudare diferit, poate să extrudă și ABS, polietilenă de înaltă densitate și homopropilenă, toate materiale plastice cu temperatura de topire ridicată.

Este cea mai utilizată tehnologie de prototipare după stereolitografie. Un filament din plastic, cu un diametru egal aproximativ cu 1/16 inci, este desfășurat de pe o bobină (A) și alimentează o duză de extrudare (B).

În unele configurații ale mașinii în loc de filament au utilizat granule alimentate cu ajutorul unor pâlnii. Duza este încălzită pentru a topi plasticul și are un mecanism care reglează alimentarea materialului topit. Duza este montată pe un suport mecanic(C) ce poate fi mișcat pe direcție horizontală respectiv verticală.

Cum duza este deplasată deasupra mesei de lucru (D) conform specificațiilor date, aceasta v-a depozita succesiv straturi subțiri de plastic extrudat. Plasticul se solidifică imediat după ce a fost stropit prin duza de injecție, și v-a adera la stratul anterior depus. Întreg sistemul este introdus într-un cuptor ce menține temperatura sub cea de topire a plasticului, astfel este necesar doar o cantitate mică de energie pentru a topi plasticul ce trece prin duza de extrudare, având un control mai bun asupra procesului.

3. OBIECTIVELE CERCETĂRII

Tehnicile de prototipare rapidă au în vedere sectoare de activitate diverse, dar foarte dinamice, iar printre acestea se remarcă cu particularități speciale sectorul de plasturgie. În acest domeniu produsele (piesele) realizate prin prototipare sunt realizate din materiale plastice care prezintă un comportament vascoelastic mai mult sau mai puțin evident atât în faza de realizare cât și în cea de exploatare. Acest comportament este diferit de cel specific metalelor care se regăsesc în construcția matrițelor.

Interesul pentru tehnicile de prototipare este evident mai ales în cazul injectării în matriță a pieselor din materiale polimerice. Pe de o parte aplicarea tehnicilor de prototipare rapidă este dictată de nevoia de a realiza produse performante și competitive în cadențe și serii mari de fabricație, iar pe de altă parte trebuie asociată piesei injectate o matriță a cărei cavități formatoare sunt în egală măsură obiectul de interes al acestor tehnici. Acest ultim aspect capătă conotații speciale cunoscut fiind faptul că matrițele de injectare sunt scule extrem de costisitoare și cu un ciclu lung de fabricație.

O caracteristică specială a sectorului de plasturgie este faptul că numărul marilor unități industriale cu activități și potențial dezvoltat pentru fazele de concepție a produselor sau matrițelor este relativ redus în raport cu numărul mare al unităților mici de producție (IMM-uri) care nu-și permit structuri elaborate de concepție, dar care sunt adesea confruntate cu probleme de dezvoltare sau flexibilitate în fabricație.

Pentru acestea din urmă există unor structuri de cercetare-concepție care să ofere servicii de asistență tehnică în dezvoltarea de noi produse, în prototipare, devine vitală.

Pe de altă parte problema care limitează pentru moment proliferarea masivă a tehnicilor de prototipare rapidă îl prezintă costul lor relativ ridicat și evoluția foarte rapidă a perfecționărilor care pot schimba de la o zi la alta opțiunile.

Analiza comparativă a tehnicilor de prototipare rapidă realizată în capitolul 2 a scos în evidență faptul că dintre toate tehnicile dezvoltate în ultimul timp cea de prototipare prin frezare este precisă, versatilă și suficient de ieftină pentru a trezi interesul specialiștilor din domeniul plasturgiei.

În contextul mai sus evocat **obiectivul principal al prezentei teze a constat în studiul îmbunătățirii tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare astfel încât să se ofere soluții adecvate suficient de performante și precise pe baza unor platforme de lucru versatile și cu costuri de achiziție și mentenanță rezonabile.**

Din formularea de mai sus rezultă în mod concret următoarele obiective derivate și mijloace de lucru:

- Evaluarea stării de fapt și a perspectivelor tehnicilor de prototipare rapidă;
- Identificarea prototipării rapide prin frezare ca și tehnică adecvată cerințelor unui raport optim performanțe/preț;
- Definirea și alcătuirea unei platforme operaționale care să permită abordarea tuturor fazelor prototipării și să integreze echipamente și softuri suficient de performante, dar versatile și cu costuri accesibile;

- Realizarea unui set de proceduri de prototipare (scanare, definire model virtual, realizare model fizic și evaluare) pentru piese specifice plasturgiei și cu grad ridicat de complexitate a formelor;
- Evaluarea comparativă a prototipării rapide folosind platforma RP în comparație cu prelucrarea CNC a modelelor complexe;
- Evaluarea problemelor ce pot să apară în perspectiva dezvoltărilor.

4. PLATFORMA OPERAȚIONALĂ PENTRU REALIZAREA CERCETĂRII

Adaptarea unei platforme operaționale pentru studiul tehnicii de prototipare rapidă prin frezare a avut în vedere obținerea unui raport optim performanțe / costuri. Se pot realiza platforme pentru RP conținând echipamente și softuri foarte performante dar în același timp și foarte costisitoare. Prototiparea Rapidă prin frezare reprezintă în raport cu alte tehnici de prototipare o variantă atractivă. Pe lângă performanțele generale bune asociate cu costuri de achiziție accesibile putem menționa și versatilitatea acestora asociată cu costuri reduse de exploatare și mentenanță. Nu este de neglijat nici potențialul de dezvoltare prin inovări punctuale.

O platformă operațională minimală ar trebui să asigure o scanare de precizie, facilități de generare fără probleme a modelului virtual și realizarea rapidă și cât mai precisă a modelului fizic. Asocierea unui echipament performant de măsurare tridimensională oferă capacitatea rapidă de evaluare și extensie în domeniul tehnicilor de „reverse engineering”.

În cadrul tezei de doctorat realizarea platformei operaționale a avut în vedere și următoarele aspecte:

- folosirea cu maximă raționalitate a echipamentelor existente sau achiziționate și valorificarea la maxim a facilităților oferite de acestea;
- evitarea unor cheltuieli suplimentare care nu ar conduce neapărat la găsirea soluției optime ci cel mult la o soluție alternativă;
- conceputul propus în teză pentru platforma operațională să fie unul accesibil ca și costuri de investiții, unor producători cu posibilități și opțiuni limitate în dezvoltarea acestui gen de facilități;
- asistența tehnică oferită IMM-urilor sau producătorilor fără resurse prin servicii oferite pe platforma operațională să nu fie costisitoare dar suficient de corespunzătoare ca performanțe.

Alcătuirea unei platforme operaționale în sensul descris mai sus are în vedere evident și posibilitatea unei intervenții punctuale pentru mărirea performanțelor de utilizare în sensul perfecționărilor tehnice ale echipamentului sau a îmbunătățiri softurilor utilizate.

Platforma operațională alcătuită pentru studiul îmbunătățirii prototipării rapide se compune din:

- Mașina MODELA MDX 15 pentru scanări și prototipare modele;
- Mașina ISEL GFM 4433 pentru prototipare modele și pentru unele piese funcționale;
- Softul Dr. PICZA, pentru obținerea modelului virtual;
- Softul Modela Player, pentru alegerea parametrilor de prelucrare pentru mașina MODELA MDX 15;
- Softul Virtual Modela, pentru vizualizarea operațiilor de prelucrare pe mașina MODELA MDX 15;
- Softul Autocad, pentru realizarea modelului virtual;
- Softul SolidWorks, pentru obținerea modelului solid;
- Softul CATIA, pentru repararea fișierului <*.stl>.

Platformei minimale de mai sus i s-au asociat pentru facilitarea unor evaluări și îmbunătățiri:

- Mașina de măsurat tridimensională TESA 3D pentru măsurarea și evaluarea preciziei modelelor fizice;
- Mașina de frezat CNC de tipul „HURCO” (dotare uzina ELBA) pentru evaluări comparative.

Mașina MODELA MDX 15



Figura 4.1. Modela MDX-15

Capabilă de scanare și frezare, MDX-15 (figura 4.1.) este ideală pentru o gamă de opțiuni de design pentru produse, inclusiv reverse engineering, crearea rapidă de prototipuri, crearea de bijuterii și modele, precum și producție la scară redusă. Permite opțiunea pentru o frezare CNC modernă, sau selectând Piezo Senzorul Activ Roland pentru o scanare tridimensională precisă [MOD 07].

Datorită posibilităților de testare și prelucrare a arhitecturilor tridimensionale virtuale, cu MDX15 putem economisi timp și câștiga bani.

Mașina MODELA MDX-15 utilizează:

- Scanare și frezare nesupravegheată, rapidă;
- Tehnologie de scanare cu Piezo Senzor Activ Roland;
- Tehnologie de creare de prototipuri rapid și selectiv;
- Software inclus;
- Freza CNC suportă metale ușoare, inclusiv aluminiu și cupru;
- Rezoluție maximă de scanare: 0,5 mm;
- Suprafața maximă de lucru a MDX-15: 15,24 cm (X) x 10,16 cm (Y) x 6,03 cm (Z).

Piezo Senzorul Activ Roland (RAPS) transformă acest aparat într-un scanner tridimensional pentru scanare de obiecte tridimensionale și creare de date tridimensionale. Unitatea arbore de frezare transformă aparatul într-o freză CNC (control numeric computerizat) cu o gamă completă de opțiuni, capabilă să taie ceara pentru prelucrarea bijuteriilor, rășini, lemn chimic, acrilic și chiar metale ușoare precum cupru sau aluminiu.

Crearea rapidă și selectivă de prototipuri (prototiparea rapidă substractivă - SRP) pornind de la un obiect solid și înlăturând materialele nedorite - are mai multe avantaje față de metoda tradițională de creare a prototipurilor. Fiind cu mult mai ieftin decât alte aparate de creare rapidă de prototipuri cu aceeași rezoluție, dispozitivele SRP frezează o gama mai largă de materiale care costă mai puțin și nu

necesită compuși chimici sau muncă suplimentară după finisare. În plus, această mașină conferă o finisare superioară.

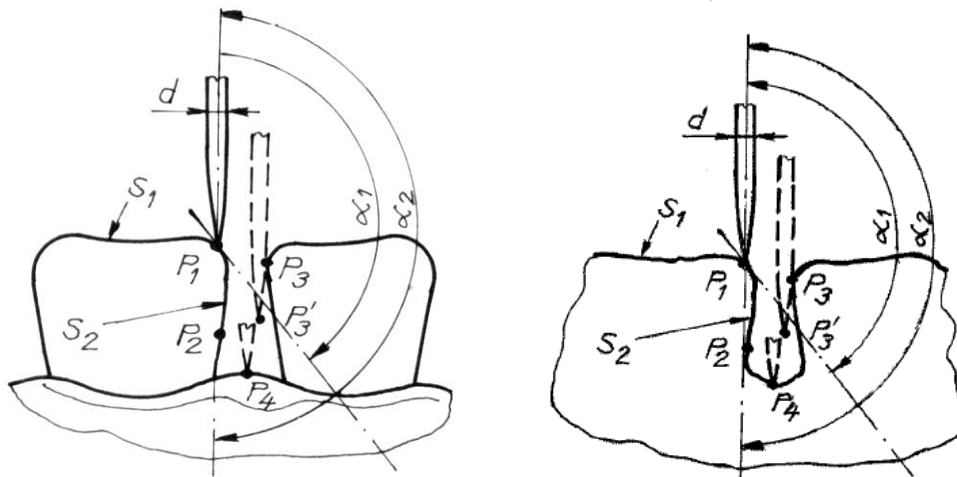
Tehnologia cu Piezo Senzor Activ Roland (RAPS) elimină dezavantajele scanner-elor tridimensionale convenționale cu contact. Aceasta permite scanarea datelor cu precizie maximă, captând chiar și cele mai mici variații. Suprafețele minime care pot fi scanate cu MDX-15: direcție axa X/Y de la 0,05 cm la 5 cm putând fi setată în trepte de 0,05 cm, direcție axa Z 0,025cm

MDX-15 scanează o gamă largă de obiecte, inclusiv obiecte moi, cum ar fi cleiul sau fructele pe care scanner-le convenționale cu contact le pot detecta foarte greu. Acesta poate scana chiar și sticla, ceea ce este imposibil de realizat cu scanner-ele optice deoarece razele de lumină trec prin obiect fără a-l detecta.

MDX-15 este livrat împreună cu o aplicație puternică de scanare și frezare CNC, compatibilă cu Windows® 95/98/ME, Windows NT® 4.0 și Windows® 2000, XP, oferind posibilitatea de a-l utiliza imediat. MDX-15 este de asemenea compatibil cu o serie de programe 3D CAD și de grafică binecunoscute, printre care se numără SolidWorks, Rhinoceros, VectorWorks, LightWave, VisualMill și 3D Studio Max.

Mașina de prototipare / scanare MODELA MDX15 prezintă însă și limitări ale procedurii. Acestea sunt două:

- a) induse de principiul de lucru al RAPS (figura 4.2.).



a) scanare suprafața reală

b) scanarea reală rezultată

Figura 4.2. Reprezentarea mecanismului de limitare a preciziei de scanare

În cazul scanării unei suprafețe poroase, contactul acului de palpare cu solidul (pct. N1) ne permite transmiterea de energie de vibrație către acesta, nu "stinge" vibrația de oscilație și ca atare în acel moment softul nu percepe situația de contact ac-solid (figura 4.3 a). Se continuă mișcarea de avans pe OX sau pe OY fapt ce duce la deformarea acului de palpare.

Când forța de apăsare acestuia pe solid este suficientă pentru "stingerea" vibrației, softul înregistrează ca solid punctul N2 (figura 4.3. b) fapt ce nu corespunde realității.

Remediul: acoperirea suprafeței cu o pelicula fină de vopsea email.

b) induse de geometria acului de scanare

Cazul ideal este cel în care acul de palpare este redus la o axa ($d=0$).

În realitate, valoarea diametrului „ d ” este diferită de zero, induce erori de prelucrare a informației privind poziția punctului solid.

Dacă unghiul între axa de palpare și tangenta la suprafață în punctul palpat $\alpha=90^\circ\pm 60$, rezultatul palpării (tradus în suprafață virtuală – figura 4.3. b) este corect (ex. S1, P1-figura 4.2.a)

Dacă $\alpha=180^\circ\pm 20$, apar erori de palpare.

Acul tangentează solidul palpat în punctul P3 dar virtual în memoria calculatorului se înregistrează P3' ca punct solid.

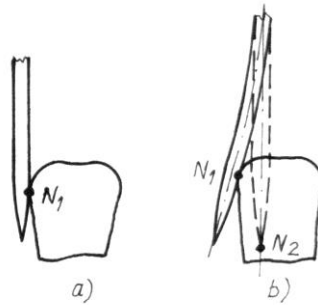


Figura 4.3. Reprezentarea punctului de contact N_1 și N_2 , a) cazul real, b) caz nedorit

Mașina de frezat 2,5D ISEL – GFM 4433

Mașina ISEL – GFM 4433 este o mașină 3 D controlată de un calculator, are posibilitatea să lucreze și pe 3 axe (interpolarea operațiilor). Mașina mai poate fi dotată suplimentar cu a patra axă, axă de rotație. [ISE 07].

Mașina este prezentată în figura 4.4.



Figura 4.4. Vedere generală (fără dispozitive) a mașinii ISEL GFM 4433

Mașina este destinată prelucrărilor de: frezare, tăiere, găurire, gravare, măsurare, dozare, poziționare și alte operații similare. Pe mașină pot fi montate o gamă largă de scule și instrumente de măsurare, în funcție de operațiile de mai sus.

Materialele recomandate pentru prelucrare sunt metale ușoare, materiale plastice, lemn, sticlă. Materiale care nu se pretează a fi folosite pe mașina - unealtă sunt grafitul (risc de explozie), și materiale care emană gaze în timpul prelucrării deoarece dăunează sănătății.

Mașina poate fi comandată și controlată atât cu ajutorul unui calculator cât și manual;

Designul ei permite montarea ușoară în diferite medii cum ar fi: camere cu mediu uscat, camere de expoziție – afacere, laboratoare sau companii mici, temperatura maximă a mediului ambiant fiind de cel mult 40 de grade.

Softul CAD/CAM permite transferul datelor direct la mașină.

Mașina poate fi folosită în producție de serie mică și cu scopul de cercetare – testare.

Echipamentul electric necesar controlului și puterii pentru cele patru axe sunt integrate (incluse) în mașină. Mașina poate lucra în CNC, deoarece este echipată cu modulul „FLASH - EPROM”.

Mașina are următoarele caracteristici:

- Dimensiunile mașinii B x L x H: 780 x 1,010 x 1,740 mm;
- Mișcarea pe distanța X / Y/ Z: 440/ 330/ 160 mm;
- Viteza maximă a axelor: 50 mm/s;
- Trecerea prin înălțime: 200 mm;
- Masa: 900 x 375 mm;
- Înălțimea pe masă: 780 mm;
- Deschizătura gratiilor: 50 mm;
- Greutatea aproximativă: 125 Kg.;
- Nivelul sunetului: 78 decibeli;
- Energia principală furnizată: 230 V, 50Hz, 16 A;
- Energia maximă consumată: 1,150 W;
- Zgomot: Puterea ieșită 2x 6,3 A;
- Fixare pe sol: Corespunzător protecție clasa I;
- Conectarea electrică: 2x 24 V, opțional 20mA, 1x 230 V;
- Mașină – unealtă: 500W, 11000 – 25000 rpm fixare „wired”

Mașina nu trebuie să se pună în funcționare în medii explozive; Mașina este complet ermetică, învelișul colector „contra sau lipit” de mișcare sculei, duce la scăderea nivelului operațiilor de restrângere a deșeurilor; Husa mașinii este medalion și nu poate fi deschisă. Acest sistem nu poate fi nici îndepărtat sau schimbat.

Mașina de măsurat tridimensională TESA 3D

Mașina de măsurat tridimensional TESA 3D MICRO – MS 343 (figura 4.5.) are următoarele caracteristici :

- ghidaje din aluminiu;
- lagăre pe perna de aer;
- masă din granit;
- sistemul de acționare tip bara Uhing;
- sistemul de măsurare cu rigle din sticlă;

82 Platforma operațională pentru realizarea cercetării - 4

- cap de măsurare manual MIH 20 (Renishaw);
- senzor de declanșare TP20 cu palpare după 5 direcții ($\pm X$, $\pm Y$, $+Z$);
- palpator cu diametrul bilei de rubin de 2 mm, lungime tijă palpator de 30 mm și diametrul de 2 mm. Palpatorul este montat în modulul de forță standard al senzorului;
- bilă de calibrare cu diametrul de 25,0002 mm;
- sistemul de palpare : palpator cu declanșare cu senzor TP2 și bilă din rubin;
- volumul de măsurare : 300 / 400 / 300;



Figura 4.5. Mașina de măsurat TESA 3D

Mașina de măsurat în coordonate folosită de S.C. ELBA S.A. este produsă de firma Brown & Sharpe, modelul Mistral 10.7.7 (figura 4.6.), ce are următoarele caracteristici:

- dimensiuni 1900 X 1125 X 2750 mm;
- cursa maximă 1000 X 660 X 660 mm;
- greutatea maximă a pieselor măsurate: 830 Kg;
- precizia de măsurare: $4+4.5L/1000 \mu\text{m}$;



Figura 4.6. Mașina de măsurat în coordonate Mistral 7

Unitatea de palpare folosită pe mașina MISTRAL este Renishaw PH10M: (figura 4.7.) având următoarele caracteristici:

- greutate 640g;
- numărul total de poziții 720;
- mișcarea unghiulară 7.5° pe axă A(0° - 105°), B($\pm 180^\circ$)
- poziționarea față de poziția teoretică: ± 0.3 ;
- repetarea poziției $< 0.5 \mu\text{m}$ (pentru o distanță de 62mm, la temperatură constantă).

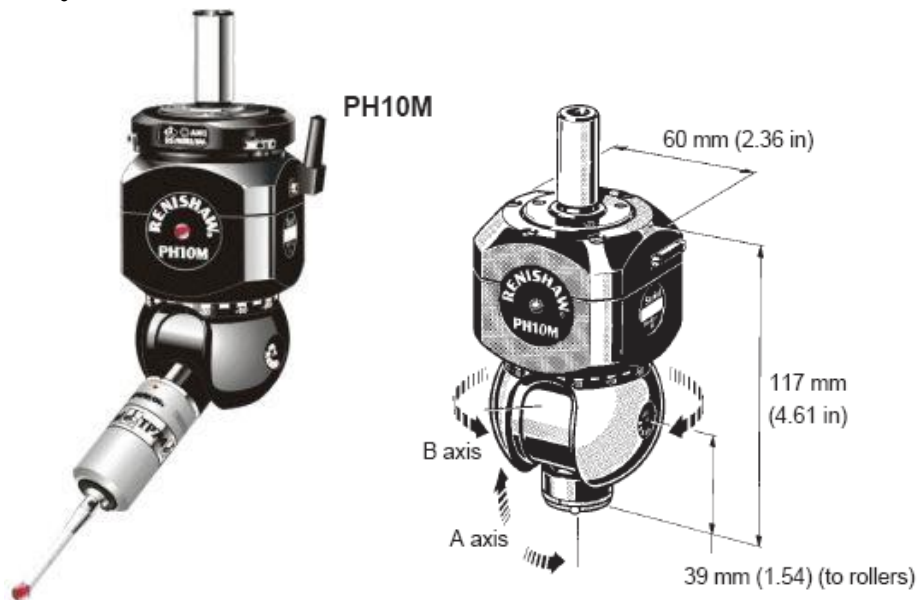


Figura 4.7. Unitatea de palpare Renishaw PH10M [REN 00]

În figura 4.8. este reprezentată ansamblul platformei operaționale.



Figura 4.8. Structura platformei operaționale

5. CERCETĂRII EXPERIMENTALE PRIVIND SCANAREA ȘI GENERAREA MODELULUI VIRTUAL PENTRU PIESE CU SUPRAFEȚE COMPLEXE

Cercetările experimentale realizate în acest capitol au avut în vedere evaluarea problemelor de scanare care pot să apară și a modului de rezolvare a acestora în cazuri specifice care pot pune probleme fie din cauza unor limite ale procedurii de scanare fie din cauza complexității formelor.

În primul studiu de caz s-a luat în considerare reperul „priză” care reprezintă un caz tipic pentru o piesă din material plastic injectată în matriță. Problemele care apar în acest caz sunt reprezentate de așa zisele suprafețe „ascunse” sau „semiascunse” care creează dificultăți atât la scanarea și definirea corectă a modelului virtual cât și la extragerea piesei din matriță.

În al doilea studiu de caz s-a avut în vedere o piesă care să prezinte o maximă complexitate a formei, care să necesite „fragmentarea virtuală” pentru a face posibilă scanarea cu echipamentul platformei operaționale (MODELA MDX 15) și care să reprezinte și un caz particular ca aplicație și anume o aplicație medicală „proteză dentară”. Acest gen de piesă „free-form” cu suprafețe complexe se poate regăsi deseori și între cele fabricate prin injectare.

În cel de-al treilea caz întru cât dimensiunile de lucru ale mesei mașinii de scanat nu permit operațiuni pe cavități sau poansoane a unor matrițe reale de injectare s-a optat pentru a se efectua experimente pe un reper tip „mască” care prin forma specifică a suprafeței poate substitui studiul fie al cavităților complexe din matriță (fața „mască”) fie al proeminențelor complexe ale poansonului din cuibul matriței (dos „mască”). Extrapolarea acestora chiar dacă are unele elemente discutabile oferă totuși posibilitatea realizării unor observații cu mare grad de generalizare și utilizare.

5.1. Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză”

S-a ales un produs a cărui suprafețe definesc formele demulabile în cavitățile unei matrițe de injectare și asigură un înalt grad de generalizare a condițiilor privind aplicarea tehnicii de RP. (figura 5.1.) [DUM 06].

Pentru această suprafață frontală a „prizei” este foarte importantă poziționarea obiectului pe masa mașini pe direcția de palpate a palpatorului în orificiile de scanat. Aceste orificii trebuie să fie perpendiculare pe direcția palpatorului, pentru a avea o formă rezultată cât mai precisă. În figura.5.1. se arată poziționarea piesei pe masa mașini pe cele două direcții.

La alegerea ariei de scanare trebuie să avem grijă foarte mare în a alege cât mai exact această arie condiție valabilă pentru toate piesele scanate (Figura 5.2.)

Pentru asigurarea unei poziționări convenabile și sigure s-a recurs la un suport pe bază de rășină deformabilă (plastelină) care să asigure condițiile optime de scanare.

După ce am stabilit și alegerea corespunzătoare a pasului de scanat pe cele 2 direcții X și Y, alegerea lui Z Bottom se trece și la alegerea lui Z Upper.

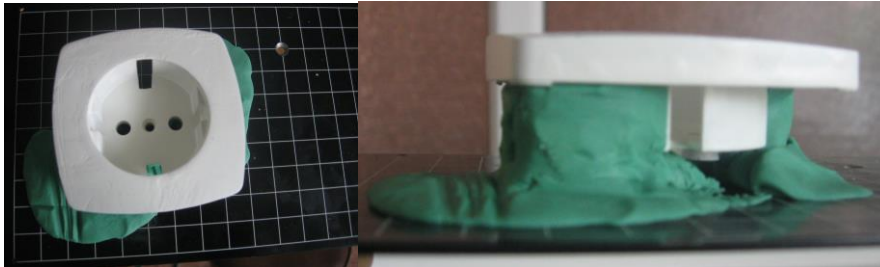


Figura 5.1. Poziționarea prizei pe masa de lucru

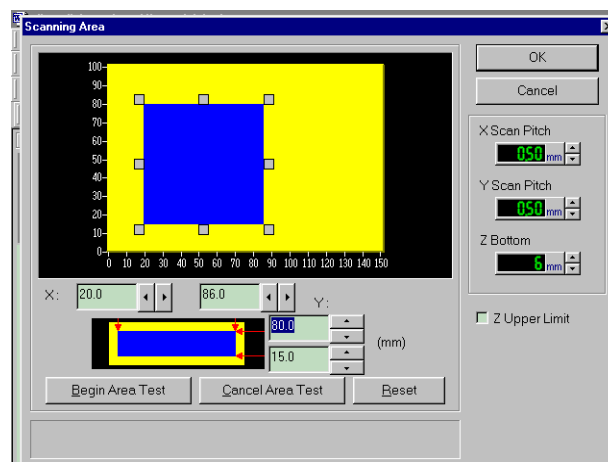


Figura 5.2. Alegerea arie de scanat pentru reperul „priză”

Forma rezultată este prezentată în figura 5.3. și se observă o reproducere fidelă a piesei scanate.

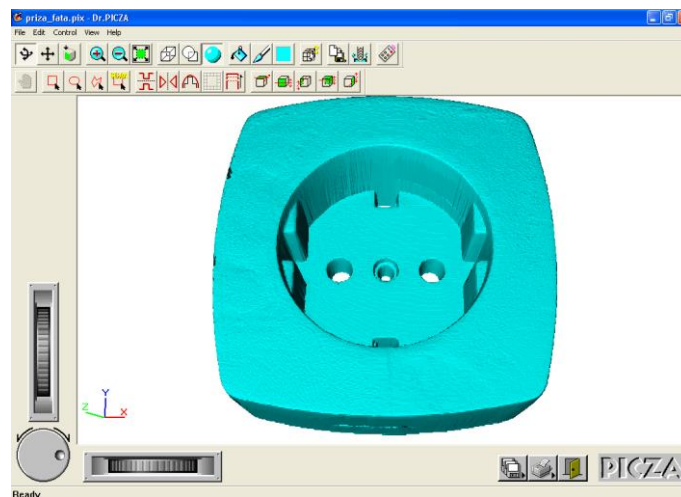


Figura 5.3. Forma finală a reperului tip „priză”

În urma executării operațiilor de scanare se constată o dificultate majoră în definirea modelului virtual determinată de o zonă „semiumbrită” a reperului priză. De remarcat că întreaga suprafață care este marcată în figura 5.4. prin culoare roșie impune o rescănare.

Acest lucru ne conduce la obținerea formei finale mai precisă din punct de vedere funcțional.

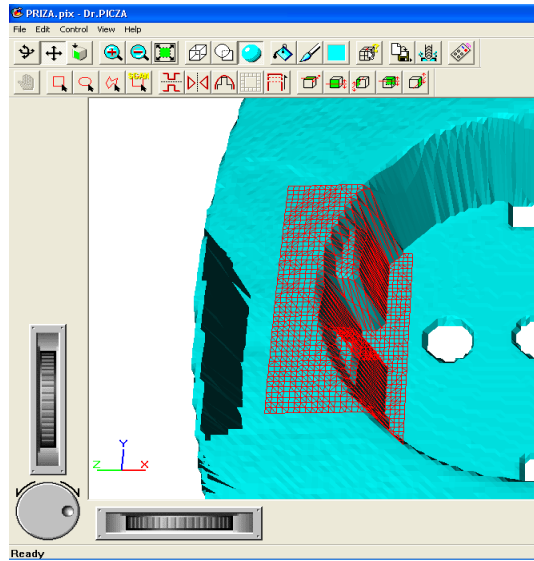


Figura 5.4. Suprafața rescănată a reperului tip „priză”

Dacă suntem interesați și de partea inversă a suprafeței aceasta se poate obține foarte ușor datorită softului Dr. PICZA așa cum se vede și în figura 5.5.

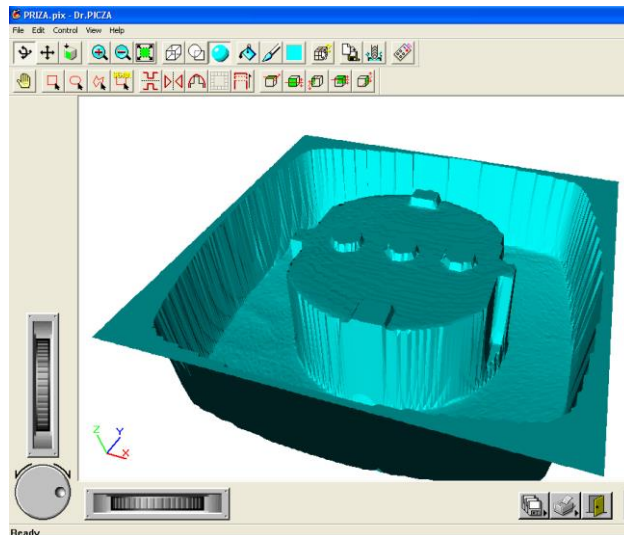


Figura 5.5. Suprafața inversă a reperului tip „priză”

Dacă suprafața rezultată în urma procesului de scanare și cel de rescănare este considerată acceptabilă atunci se salvează fișierul cu extensia dorită de specialistul care se ocupă cu realizarea efectivă a matrițelor (figura 5.6.).

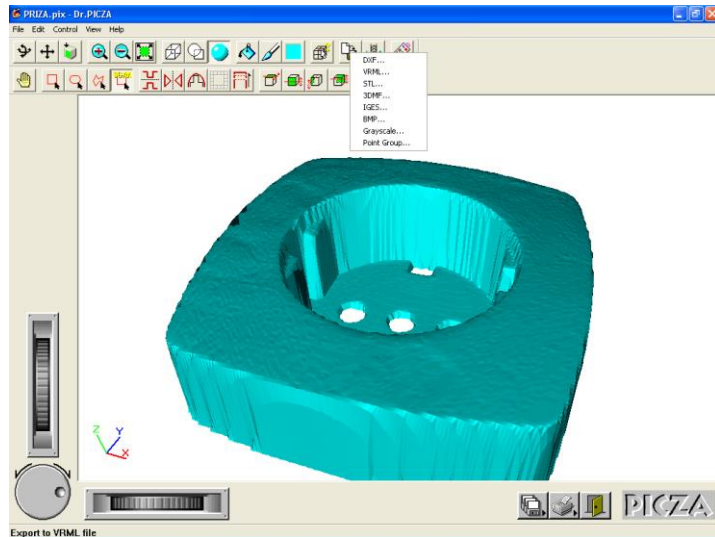


Figura 5.6. Salvarea fișierului rezultat cu extensia dorită

Forma rezultată a modelului virtual la finalizarea procesului de scanare este salvată sub extensia <*.igs> aceasta cu ajutorul algoritmului de transformare a modelului virtual în model solid, forma modelului solid este reprezentată în figura 5.7.

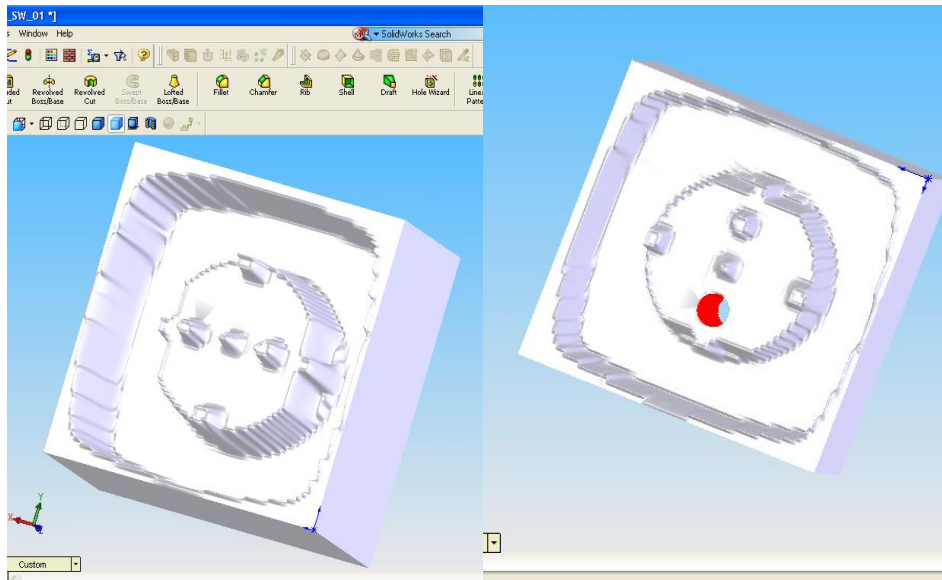


Figura 5.7. Solidul obținut în SolidWorks și modificarea adusă

La acesta formă de solid se poate interveni foarte ușor pentru a realiza modificări ale obiectului (figura 5.8.).

În cazul redat s-au modificat orificiile din interiorul prizei.

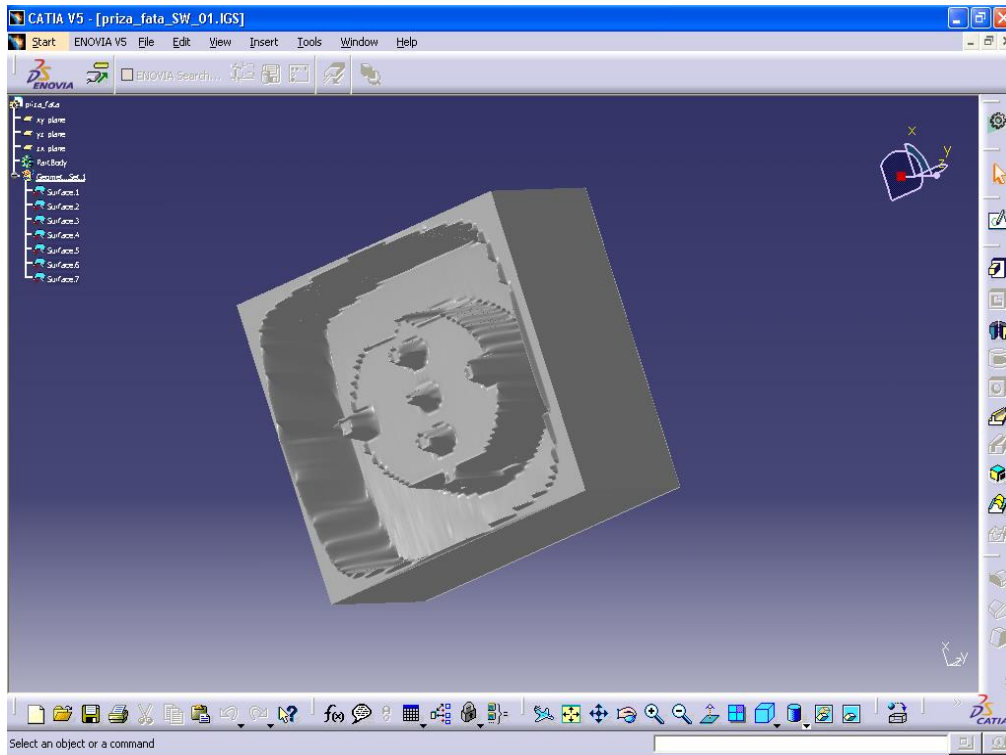


Figura 5.8. Modelul descris în softul CATIA și salvat cu extensia <*.stl>

Din cele descrise în pașii anteriori folosindu-se facilitățile operaționale ale mașinii MODELA MDX15 și a utilizării asociate a softurilor SOLID WORKS și CATIA se poate obține în urma unor proceduri uzuale de scanare și rescanner o definiție dorită a modelului virtual astfel încât să se poată trece efectiv la realizarea modelului fizic real.

În mod particular mașina MODELA MDX15 prezintă facilitatea ca prin simpla schimbare a capului (tijei) de scanare cu capul de frezat și scule din dotare să se poată trece direct la realizarea prototipării (SRP). Prototipul rezultat în cazul de față este un model pentru etapele de concepție și reconcepție, dar în unele situații particulare se pot obține chiar repede cu rol funcțional.

5.2. Studiu de caz pentru reperul „proteza dentară”

În acest caz forma complexă a piesei de tip „free-form” este reprezentată de o proteză dentară. Cercetările efectuate au ca scop principal elaborarea strategiei de obținere a solidului după ce această proteză a fost scanată cu ajutorul mașini de scanat MODELA MDX-15 folosind softul de scanare Dr. PICZA.

Proteza dentară aleasă ca obiect de studiu pentru a testa facilitățile de scanare și apoi de definire a modelului virtual, pe lângă forma complexă a suprafețelor prezintă dificultăți de poziționare corectă și de cuprinderea în aria de scanare a mașinii.

Pentru a asigura poziționarea optimă în redarea scanării, poziția ce are în vedere un unghi optim al acului de palpăre în raport cu suprafețele vizate s-a folosit fixarea cu rășină plastodeformabilă (plastelină) (figura 5.9.).



Figura 5.9. Fixarea și poziționarea protezei.

Montarea cât și demontarea pieselor pe mașină se face după ce masa mașini cu caroiaj referențial este detașată din mașină, ca și condiție de funcționare a utilajului.

După ce poziționarea s-a făcut pe masa mașini, atunci se trece la fixarea mesei în mașina de prototipat Modela MDX-15.

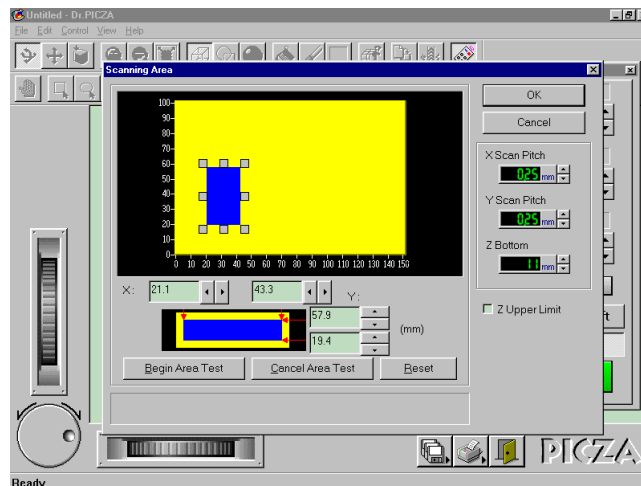


Figura 5.10. Alegerea ariei de scanat

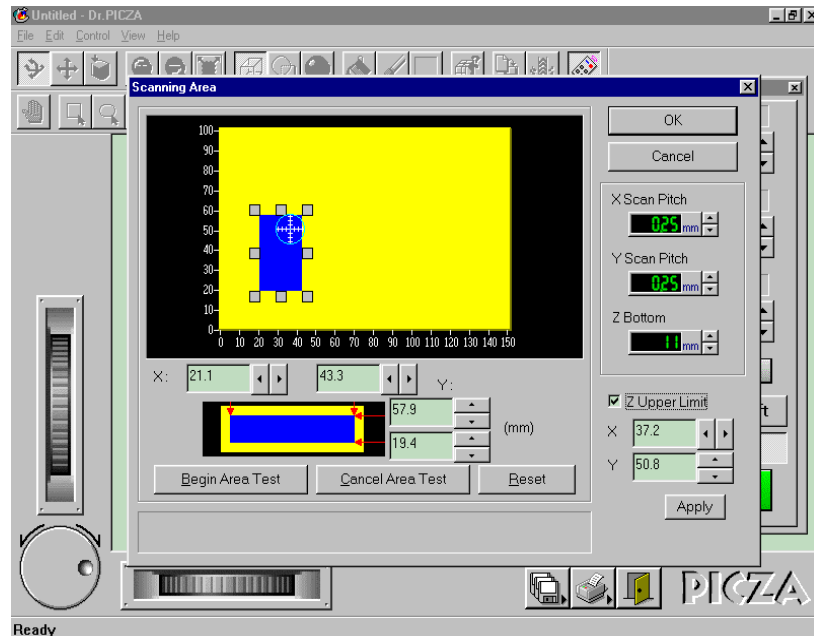


Figura 5.11. Alegerea punctului de „Z Upper Limit”

După fixarea piesei și definirea zonei active de scanare (arie și coordonata limită pe verticală – figura 5.10. și figura 5.11.) se impune alegerea unei procedee care să țină cont de specificul piesei.

Prima observație ne indică faptul că „proteza dentară” nu poate fi scanată la o singură prindere și la o singură trecere a palpatorului peste zona de scanare. Ca atare scanarea întregului corp se poate face numai prin descompunerea acestuia în mai multe corpuri. Această descompunere este influențată în mare parte de orientarea suprafețelor care compun ansamblul „proteza dentară”. Acest aspect trebuie corelat cu definirea zonei de scanare (arie și coordonata verticală) deoarece influențează cel mai mult timpul de scanat alocat suprafeței respective. Acest inconvenient se poate verifica înainte de a începe scanarea propriu-zisă pentru a putea interveni dacă se cere acest lucru. Verificarea se face pe granița ariei de scanat. Această graniță este delimitată de 3 puncte pe fiecare latură.

Rezultă că pentru a păstra acuratețea scanării corelată cu raționalizarea timpului de scanare se impune o descompunere „echilibrată” (relativ echivalentă a tipurilor de suprafețe complexe asociată cu extensia acestora) care nu rareori este o aptitudine bazată mai mult de îndemânarea și experiența operatorului. După mai multe încercări succesive și diminuarea unor variante care îngreunează procedura se prezintă în continuare rezultatul scanării „protezei dentare” descompusă în 6 segmente. Cele 6 segmente au fost scanate fiecare pentru același regim fin de scanare și cu păstrarea cvasiconstantă a unghiului de atac al acului principal pe suprafața dominantă a segmentului. Rezultatele scanării sunt prezentate în figurile 5.12 – 5.18 iar fișierele generate de softul Dr. Picza sunt sub extensia <*.pix>.

În anexa tezei sunt prezentate de asemenea fișierele corespunzătoare suprafețelor verso ale segmentelor din figurile 1. – 6. [DUM 006].

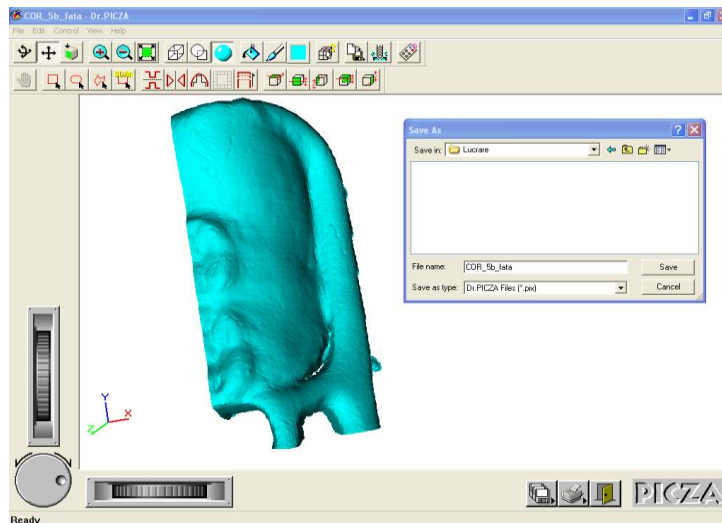


Figura 5.12. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 1)

Algoritmul de generare a solidului după suprafața scanată rezultată în urma procesului de scanare este destul de anevoios și pretențios.

După ce avem fișierul generat de MODELA acesta este salvat cu extensia <*.iges> (figura 5.13), atât pentru prima suprafață cât și pentru a doua suprafață ce alcătuiește prima parte din întregul ansamblu „proteza dentară” (figura 5.14.), și este deschis apoi în Solid Works. Aici vom încerca să îmbinăm suprafețele care compun solidul dorit și să rezulte o parte comună a acelor suprafețe, (suprafața comună este evidențiată prin culoarea roșie-figura 4.15). Când softul Solid Works ne dă acceptul ca rezultatul îmbinării a acelor suprafețe este OK vom salva acest fișier rezultat sub extensia <*.sat> pentru a putea fi deschis în AutoCAD și aici să îl putem prelucra pentru a rezulta solidul dorit de noi (figura 5.16.).

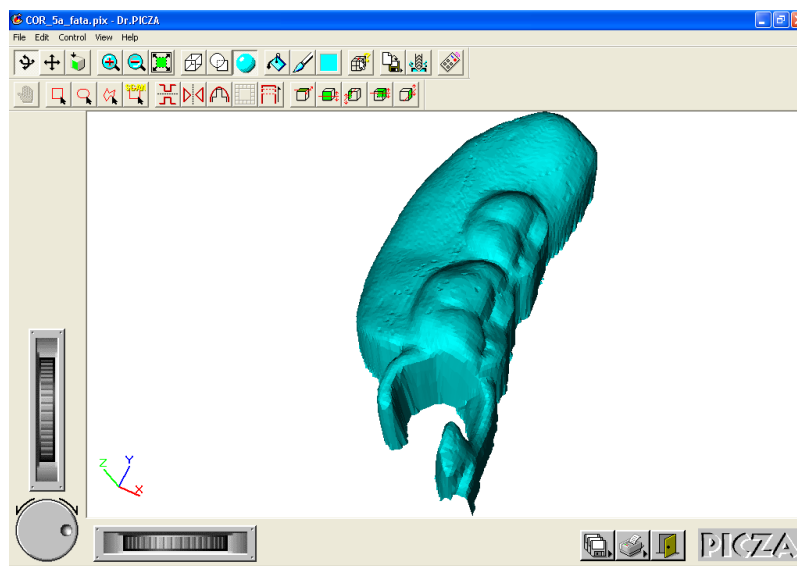


Figura 5.13. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 2)

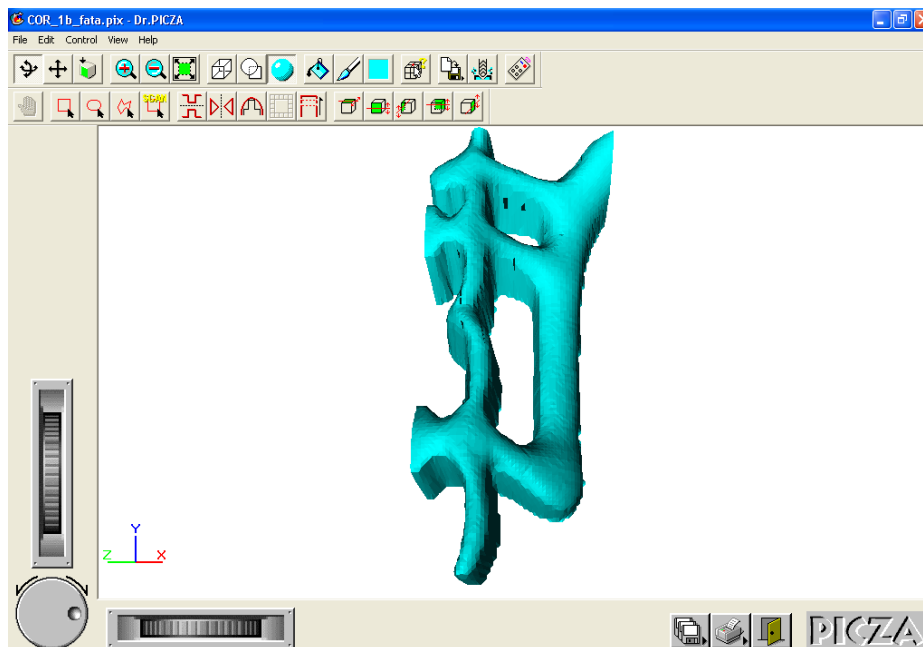


Figura 5.14. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 3)

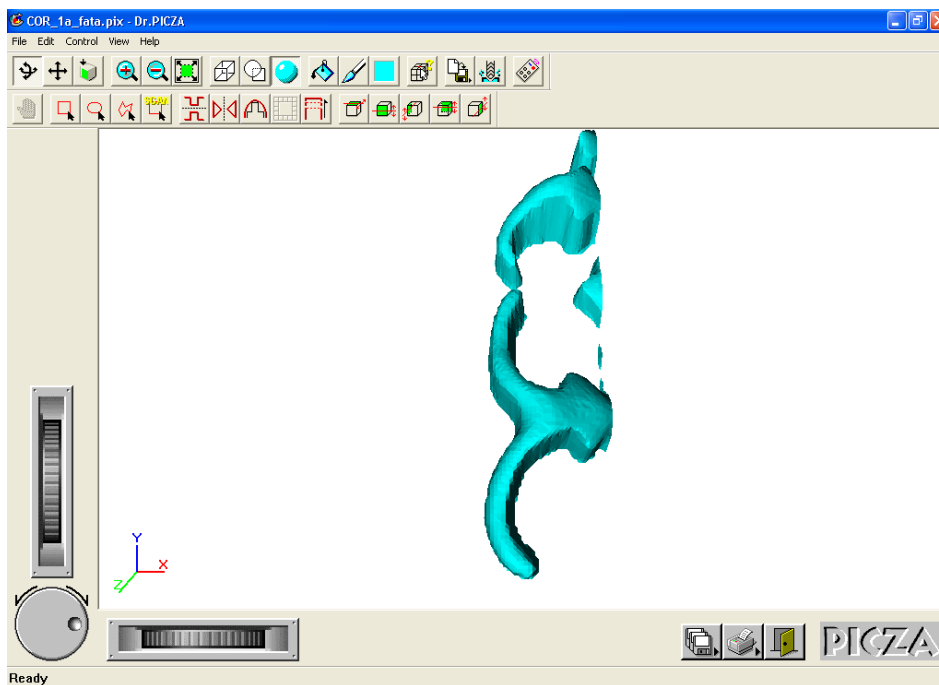


Figura 5.15. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 4)

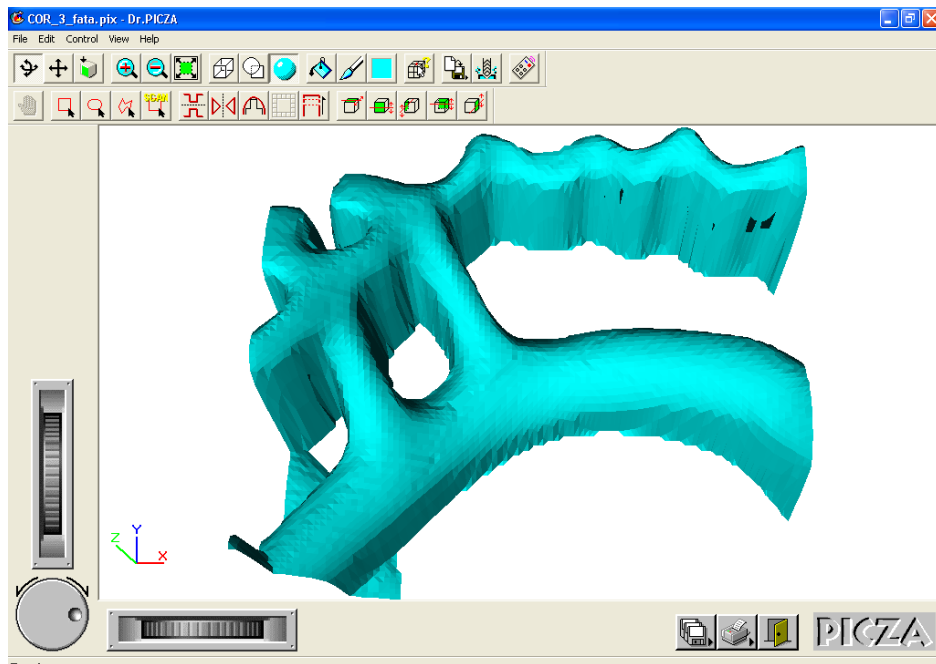


Figura 5.16. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 5)

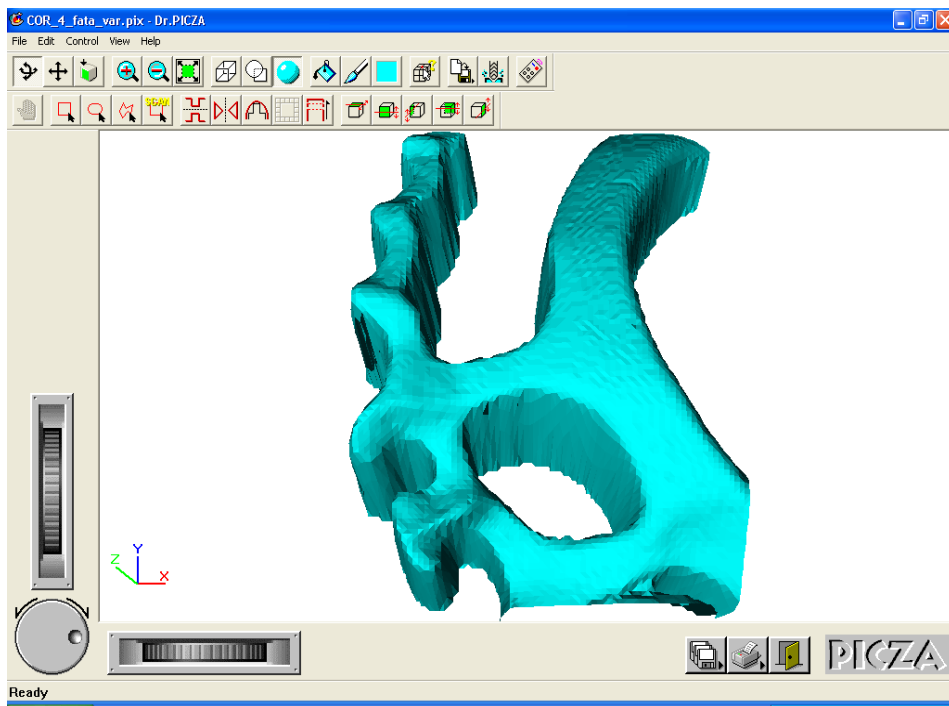


Figura 5.17. Suprafața obținută în urma scanării (segmentul 6)

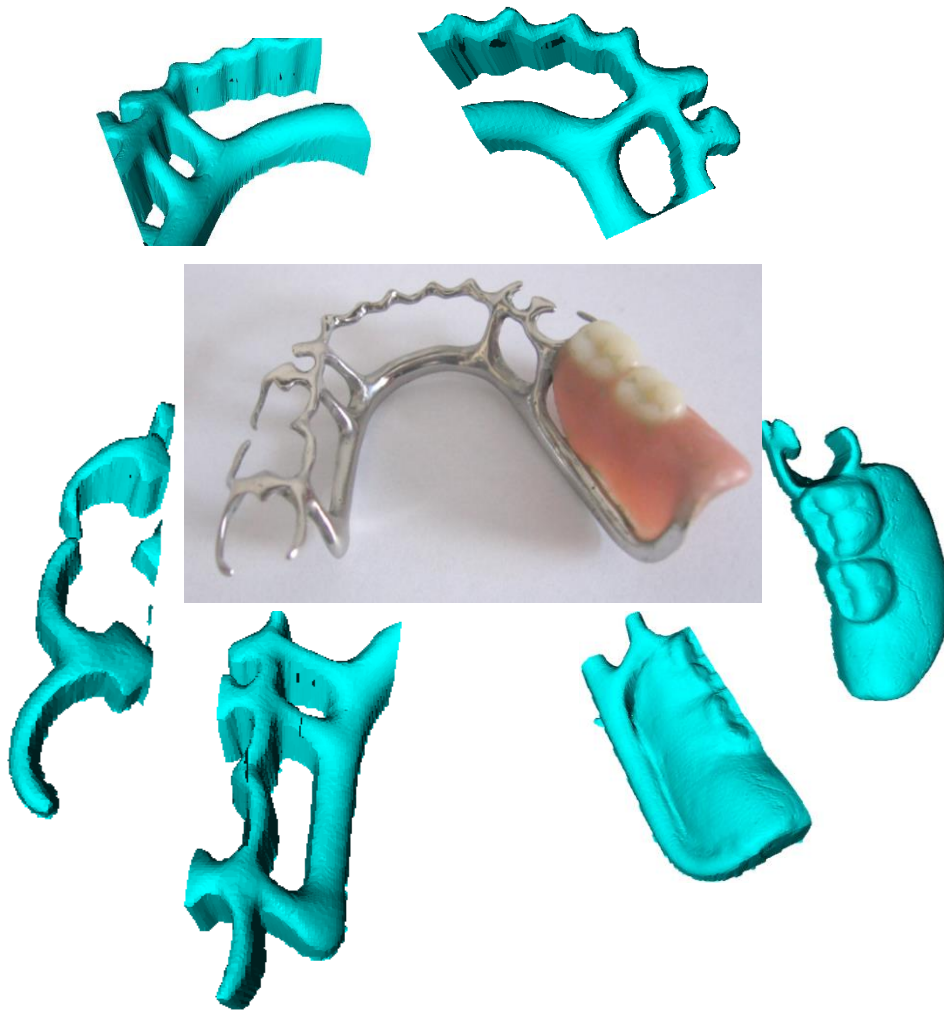


Figura 5.18. Ansamblul părțile componente (segment 1- 6) pentru partea față a protezei

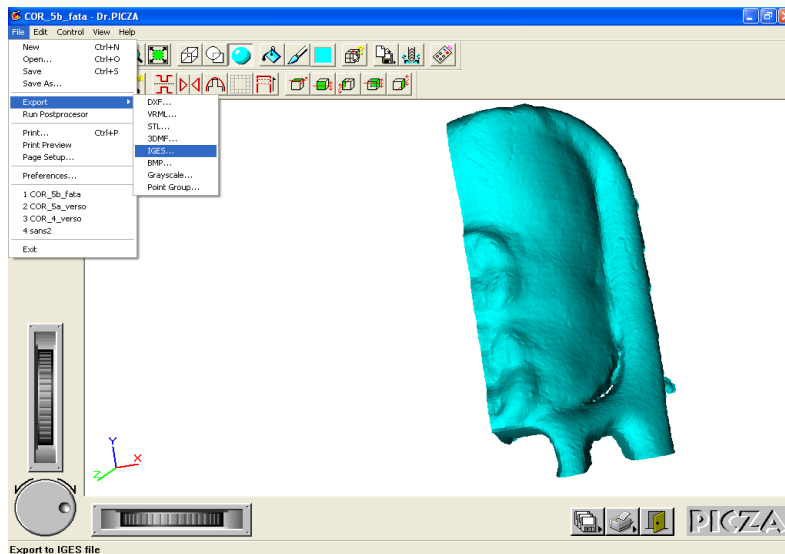


Figura 5.19. Salvarea suprafeței cu extensia *IGES

Salvarea fișierelor face prima dată din softul Dr. Picza în format <*. igs> (figura 5.19) apoi în format <*.sat> ne ajută la transformarea lor în solid, fișierele astfel create putând fi deschise în programul AutoCAD. Se folosește un algoritm pentru a interfața cele două solide astfel create pentru a rezulta solidul compus din toate suprafețele corpului scanat.

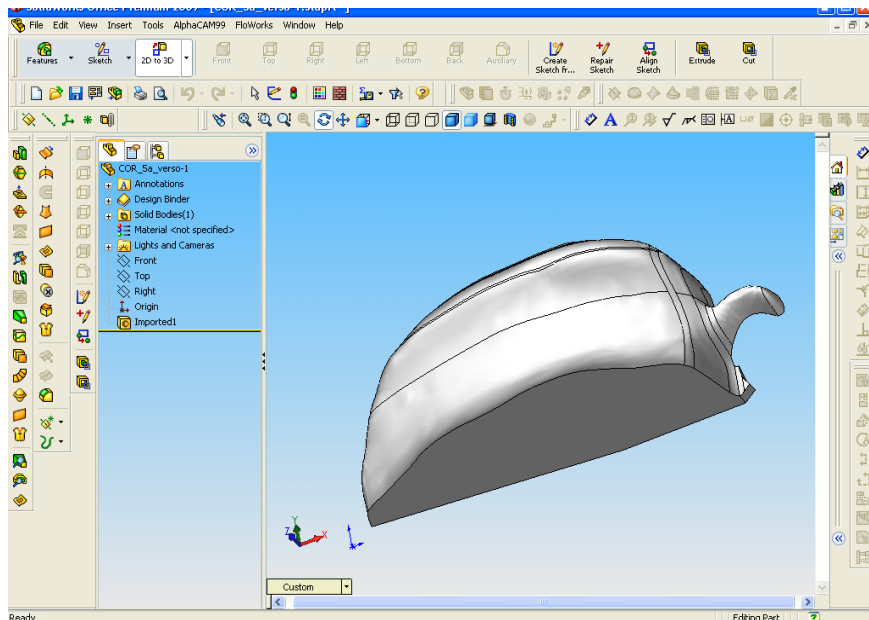


Figura 5.20. Interferența celor două corpuri rezultate în urma scanării – partea „verso”

Rezultatul acestor interferențe sunt prezentate în figurile 5.20. și 5.21. pentru suprafața verso.

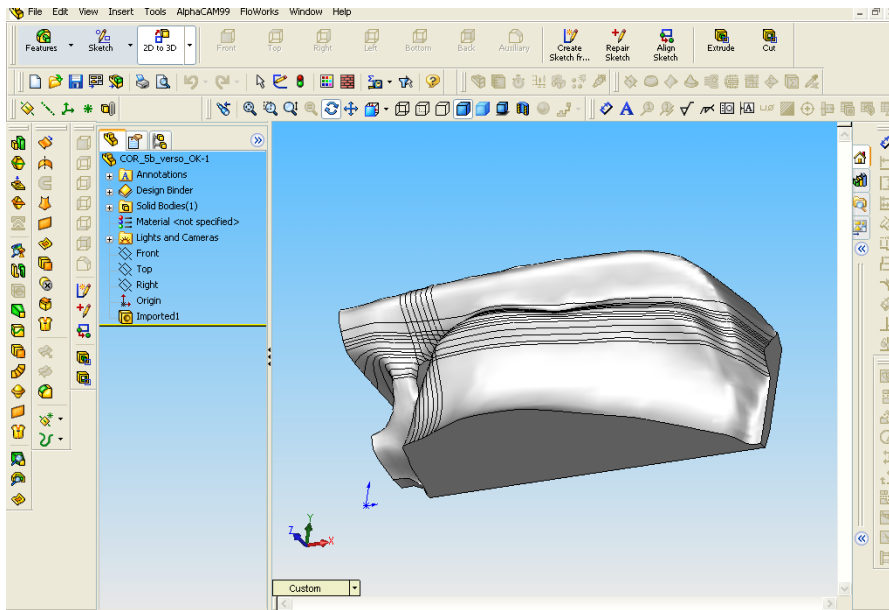


Figura 5.21. Interferența celor două corpuri rezultate în urma scanării – partea „verso”

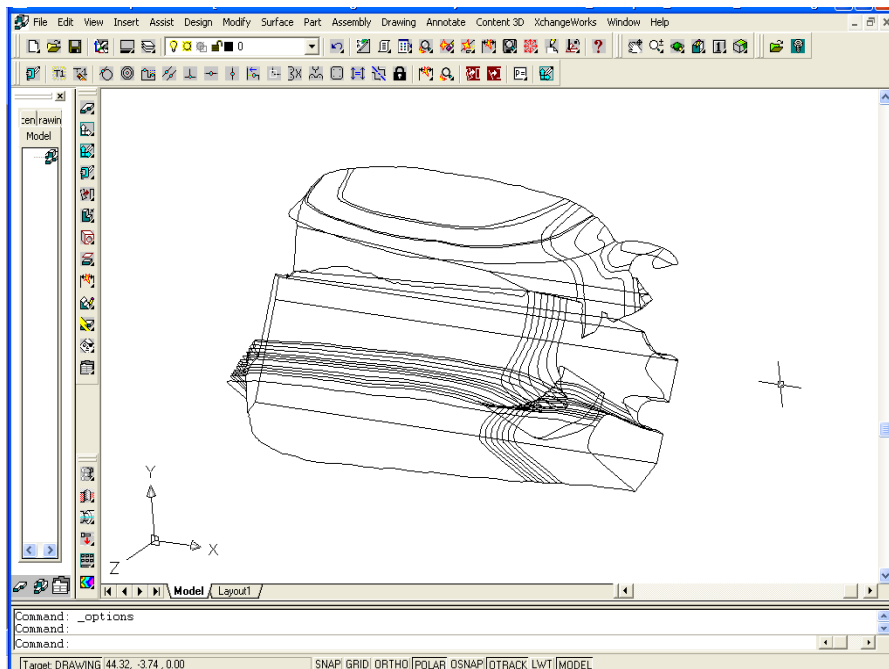


Figura 5.22. Interferarea celor două solide cu ajutorul softul AutoCAD

98 Cerc. Exp. privind scan. și gen. mod. virt. pentru piese cu supraf. complexe - 2

După ce s-a făcut o primă interferență sectare a celor două corpuri în softul AutoCAD (figura 5.22.) acestea se readuc în softul SolidWorks și se repetă interferența celor două corpuri (figura.5.23.). Procedura este destul de anevoioasă și necesită multă răbdare și timp.

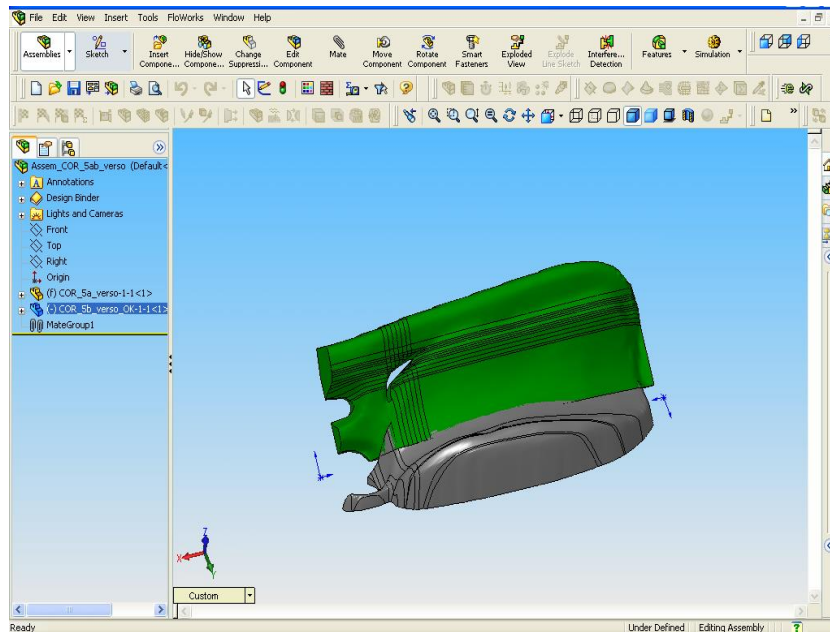


Figura 5.23. Importarea celor două suprafețe în softul Solid Works

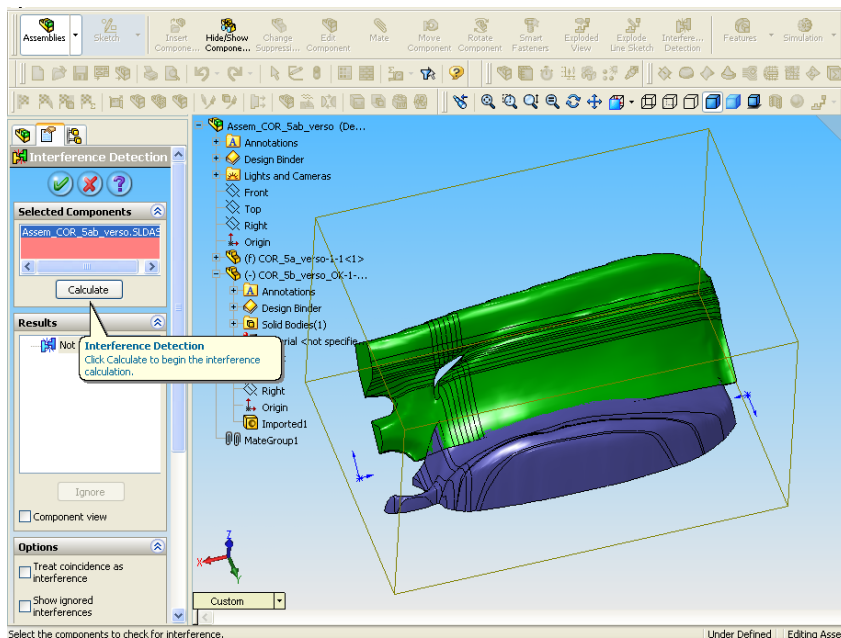


Figura 5.24. Determinarea interferenței dintre cele două corpuri în Solid Works

După o orientare foarte atentă și poziționarea celor două suprafețe rezultate cu ajutorul softului Solid Works avem posibilitatea de a determina interferența dintre cele două corpuri în vederea obținerii solidului (figura 5.24.).

Rezultatul interferenței celor două corpuri este vizualizat cu culoare „roșie” foarte sugestivă, corpul rezultat în urma interferării celor 2 ansambluri care formează întregul solid este prezentat în figura 5.25.

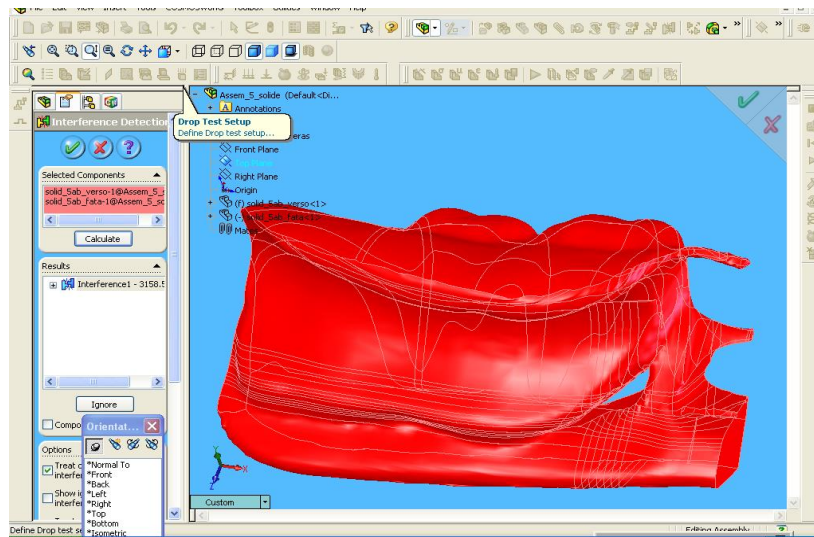


Figura 5.25. Se reprezintă determinarea interferențelor dintre cele două suprafețe

În figura 5.26 este prezentat solidul obținut în urma algoritmului de prelucrare a suprafețelor descris anterior.

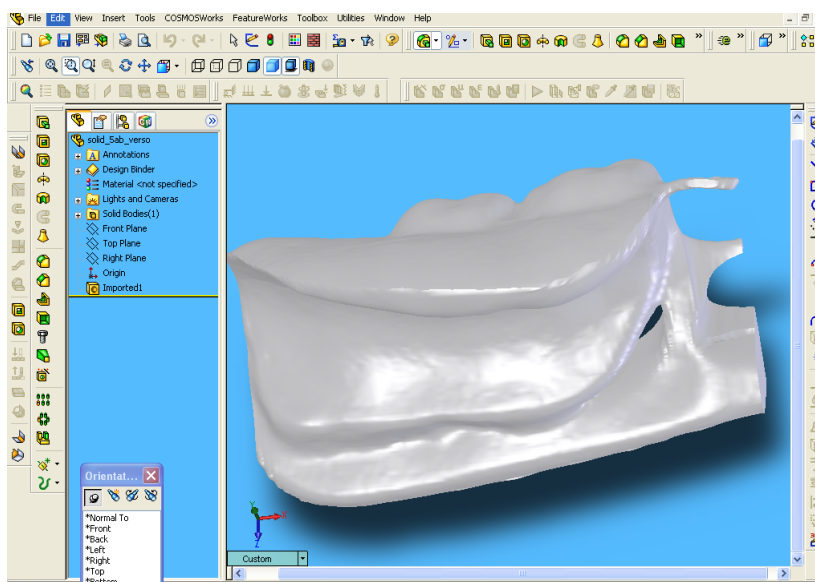


Figura 5.26. Solidul obținut în urma algoritmului de prelucrare a suprafețelor

După o examinare atentă se trece la partea finală și anume la ceea ce ne-am propus în acest studiu de caz și anume salvarea întregului solid rezultat în format <*.igs>.

Reamintim că s-a făcut scanarea pentru fiecare zonă a protezei după care datele 3D s-au salvat în format *IGES și se pot împrumuta în orice soft CAD care recunoaște acest tip de format. Toate părțile scanate se pot asambla pentru a forma un model virtual 3D complet al protezei.

Fișierul rezultat în format <*.igs> are o mărime de 30 MB ceea ce a permis evidențierea preocupării de a găsi o soluție ca acest fișier rezultat să aibe o mărime mai mică și ca el să poată fi utilizat în condiții optime în cât mai multe softuri CAD și mai ales CAM.

Pentru acesta după mai multe încercări în diferite softuri și prelucrări s-a ajuns la concluzia că solidul rezultat în format <*.igs> poate să fie deschis de către softul CATIA și în acesta el să fie transformat în fișier <*.stl>.

Chiar dacă și softul utilizat până la această observație poate să salveze formatele deschise în format <*.stl>, s-a observat că SolidWorks are mari probleme în a transforma fișierele în format <*.stl> ceea ce impune încercarea transformării și în alte softuri. Soluția cea mai adecvată a fost utilizarea softului CATIA pentru transformarea solidului cu extensia <*.igs> în extensia <*.stl>.

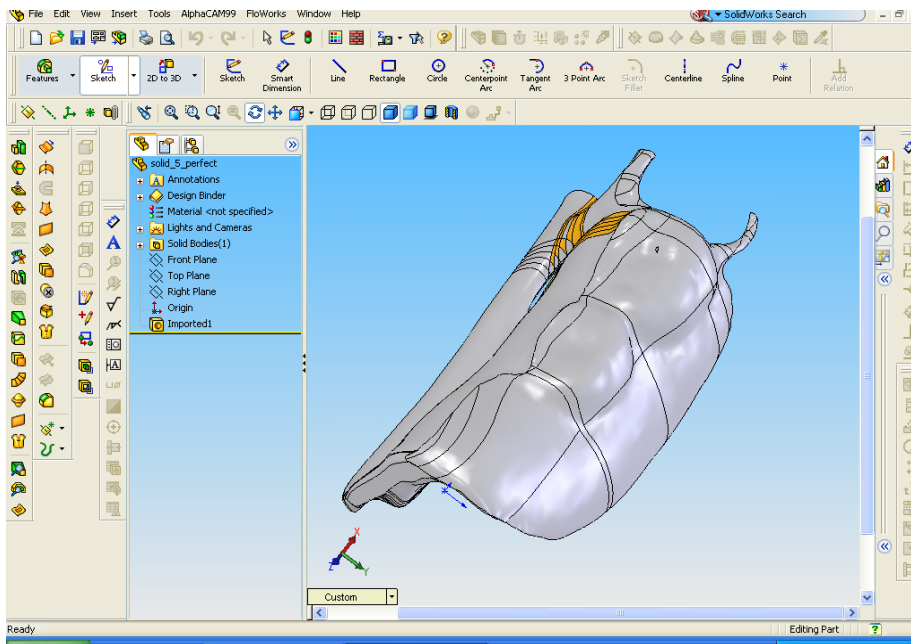


Figura 5.27. Solidul rezultat sub extensia <*.igs> de valoare 30 MB

Această operațiune de îmbunătățire a tehnicii de prototipare a fost confirmată punându-se în evidență faptul că fișierul rezultat era cel dorit și mai ales mărimea lui în format <*.stl> era de 12,4 MB. Această transformare a dus la o micșorare a întregului solid de aproximativ 43%, acest lucru permite utilizarea lui pe mai multe procedee de prototipare rapidă și nu necesita utilizarea de tehnică de calcul cu performanțe și costuri ridicate.

Rezultatul acestor operațiuni este prezentat în figurile 5.27 și 5.28.

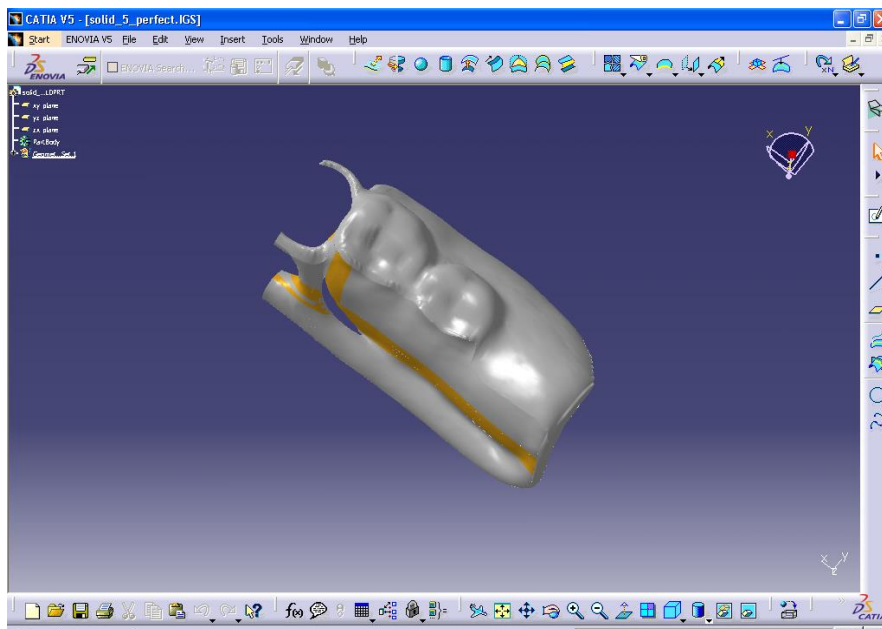


Figura 5.28. Solidul rezultat sub extensia <*.stl> de valoare 12,4 MB

Deși nu constituie un obiectiv explicit al prezentei teze în cele ce urmează se arată, indică pentru caz particular al „protezei dentare” posibilitatea evaluării rezistenței acestora la solicitările specifice și modul cum ele pot fi evidențiate folosind studiul cu un program de elemente finite (Solid Works).

Studiul posibilităților aplicării analizei cu elemente finite (FEM/FEA) pentru simularea comportamentului protezei dentare la solicitări statice produse de efectul de masticare s-a realizat sub mediul Cosmos Works. Alegerea mediului de lucru a fost determinat și de faptul că modelarea prin inginerie reversibilă a fost obținută și finalizată în Solid Works, mediu ce conține aplicația FEM/FEA. Pentru o folosire rațională a resurselor software și hardware s-a procedat la o optimizare a modelului geometric prin replicarea unei zone semnificative așa cum rezultă din figura 5.29.

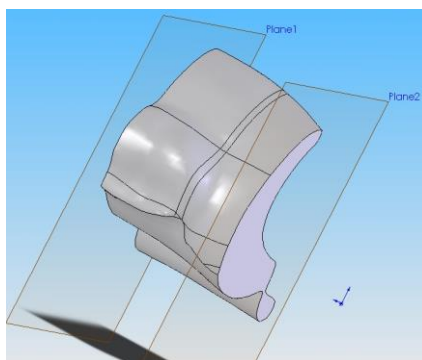


Figura 5.29. Modelul geometric optimizat pentru studiul cu elemente finite

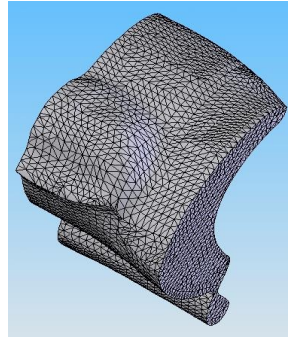


Figura 5.30. Modelul geometric discretizat cu elemente tetraedrice solide

Discretizarea modelului s-a realizat cu elemente solide tetraedrice având 10 noduri, așa cum rezultă din figura 5.30. și s-a rafinat în zonele critice pentru a realiza o acuratețe sporită de calcul în zonele de frontieră. Condițiile de constrângere au fost impuse pe suprafețele de contact ale protezei pe osul maxilar respectiv pe suprafața solicitată de presiunea de masticare, așa ca in figurile 5.31 și 5.32.

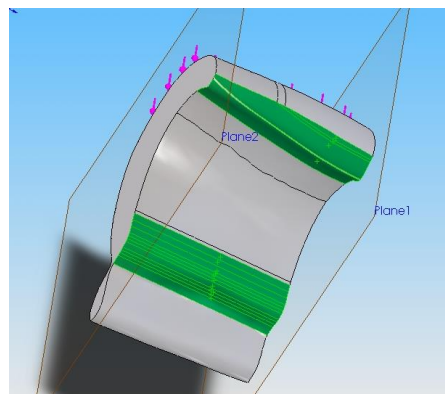


Figura 5.31. Suprafețe de reazem pe osul maxilar

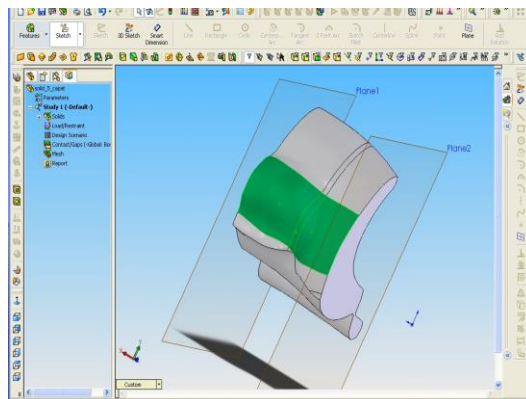


Figura 5.32. Suprafața de aplicare a forței de masticare

Simularea s-a realizat luând în considerare condiții de rezemare simplă pe suprafața de contact, respectiv încastrare pe suprafețele de legătura cu restul protezei, în scopul asigurării continuității modelului. De asemenea solicitarea a fost simulată pentru condiții de presiune distribuită pe suprafața de solicitare și forță concentrată pe zonele superioare proeminente. Aceste condiții rezultă din figurile 5.33. și 5.34. [DUM 07]

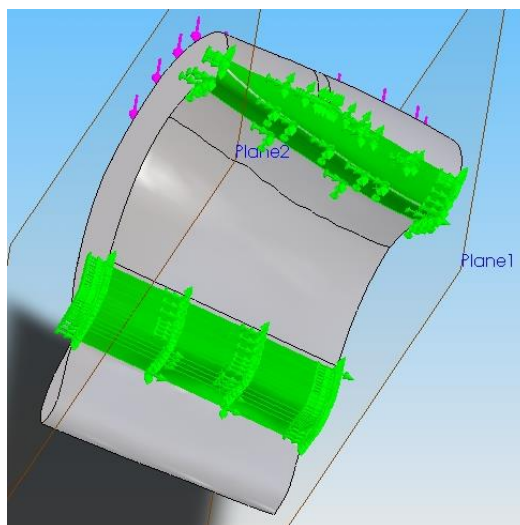


Figura 5.33. Definirea condițiilor de constrângere pe suprafețele de reazem

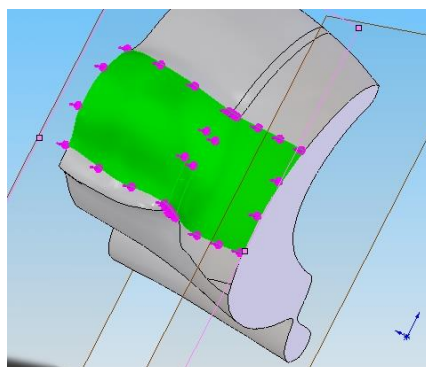


Figura 5.34. Modelarea încărcării elementul de proteză

Caracteristicile mecanice ale materialului din care este confecționată proteza au fost introduse manual în baza de date a programului, după care s-a procedat la rularea programului. Rezultatele obținute în urma rulării sunt prezentate în figurile 5.35 și 5.36 prin reprezentarea distribuției tensiunii echivalente medii, după criteriul „von Mises”, respectiv prin distribuția coeficientului de siguranță (FOS-Factor of Safety). Se observa că valoarea coeficientului de siguranță limită pentru cazul simulat este 2,7 ceea ce denotă faptul că modelul asigură condiții de exploatare optime.

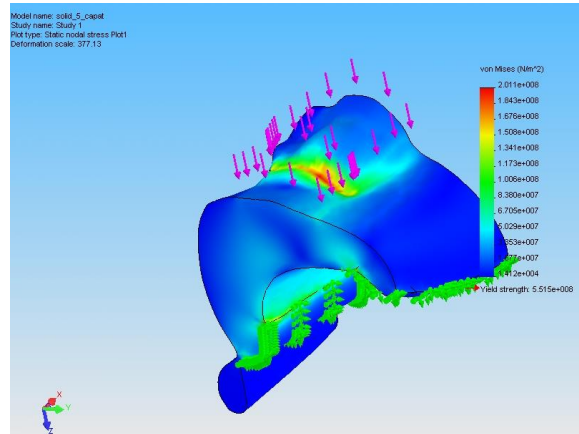


Figura 5.35. Distribuția tensiunii medii echivalente

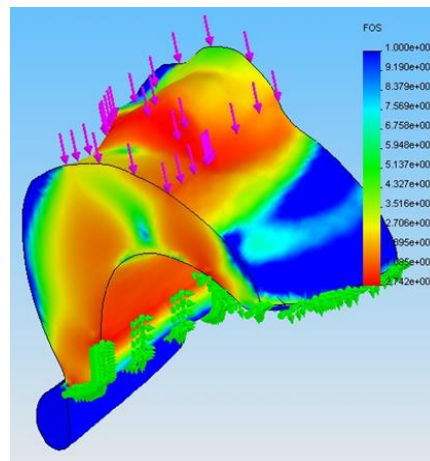


Figura 5.36. Distribuția coeficientului de siguranță

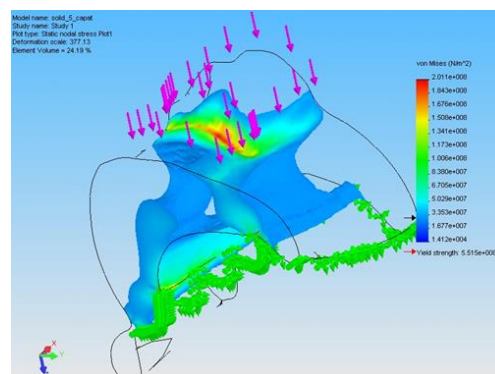


Figura 5.37. Distribuția tensiunii nodale

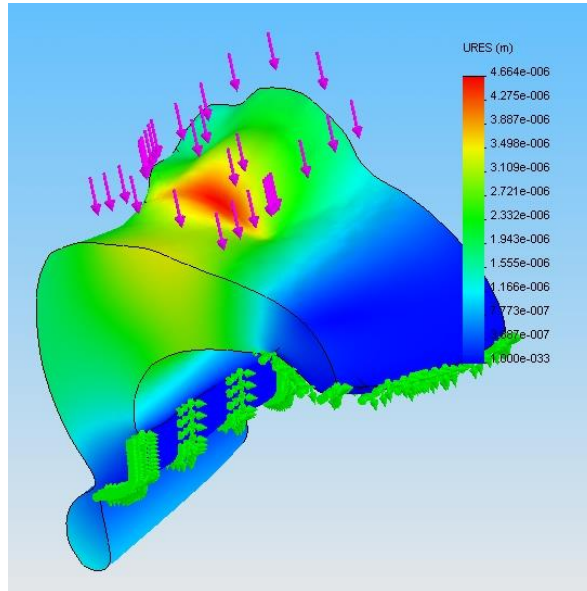


Figura 5.38. Distribuția deformațiilor

Alte informații furnizate în urma analizei cu elemente finite sunt cele legate de distribuția tensiunilor nodale respectiv mărimea deformațiilor nodale ale modelului. Aceste informații sunt prezentate în figurile 5.37 și 5.38.

Studiul stării de tensionare deformare cu elemente finite pentru modelul protezei dentare obținute prin inginerie reversibilă, validează posibilitatea simulării virtuale a comportării acesteia în condiții variate.

5.3. Studiu de caz pentru scanarea unei suprafețe complexe „mască”.

Studiul reperului tip „mască” a avut în vedere posibilitatea identificării problemelor și a soluțiilor de îmbunătățire a procedurilor de scanare, modelare și prototipare pentru un reper care poate fi clasat reprezentativ atât pentru studiul de produs cât și pentru studiul cavităților unei matrițe în cazul realizării prin injectare.

Ca și în cazurile anterioare prezentate cel mai important pas în procesul de scanare al „măștii”, îl constituie poziționarea pe masa mașinii de scanat. Aceasta poziționare este mult ușurată de caroiajul aflat pe masa mașini. Acest caroiaj este trasat din 10 în 10 milimetri atât pe axa X cât și pe axa Y.

Verificarea ariei de scanat se poate face manual dând comanda capului de scanat pentru deplasare în punctele de graniță ale piesei.

Aceste puncte sunt dispuse datorită softului Dr. PICZA atât pe colțurile ariei de scanat cât și pe mijlocul liniei ce leagă două puncte ale marginii ariei de scanat.

În cele ce urmează se prezintă o captură de imagine unde este sugerată poziționarea corectă a piesei (figura 5.39.) cât și definirea corectă a arie de scanare (Figura 5.40.).



Figura 5.39. Poziționarea piesei pe masa mașinii de scanat

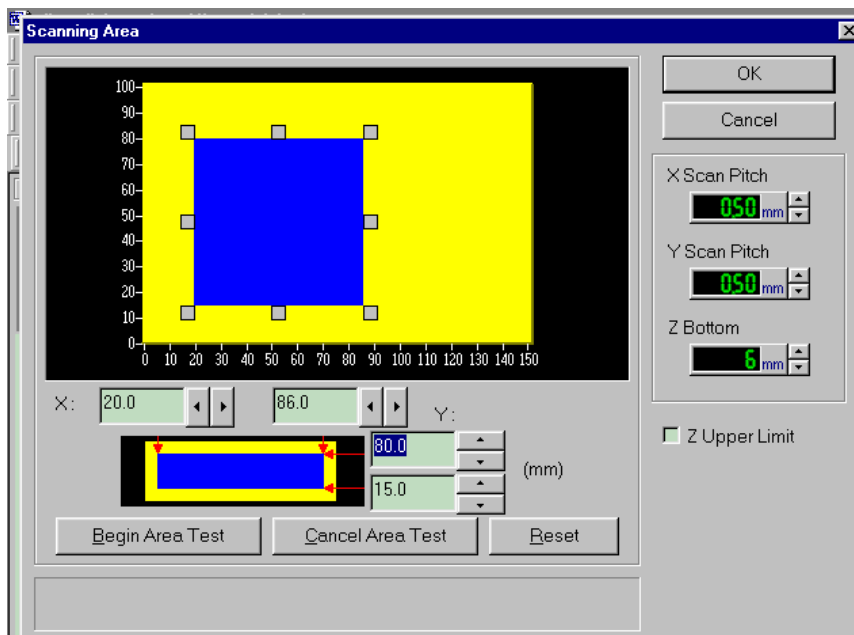


Figura 5.40. Definirea ariei de scanare

După ce aria de scanare a fost definită și verificată atât cu palpatorul cât și vizual, se trece la alegerea punctului de Z - limită (figura 5.41.). Acest punct dă practic distanța de la care să înceapă scanarea pe axa Z.

Așa cum și alegerea ariei de scanare este importantă tot așa și cota Z limită are o importanță majoră în procesul efectiv de scanare deoarece o alegere ne adecvată conduce la creșterea timpului efectiv de scanare.

Punctul Z-limită se alege pe punctul cel mai înalt al suprafeței de scanat, pentru a evita o scanare incompletă.

În timpul procesului de scanare cu Mașina MODELA MDX 15, se supraveghează foarte atent pe tot parcursul procesului de scanare al piesei.

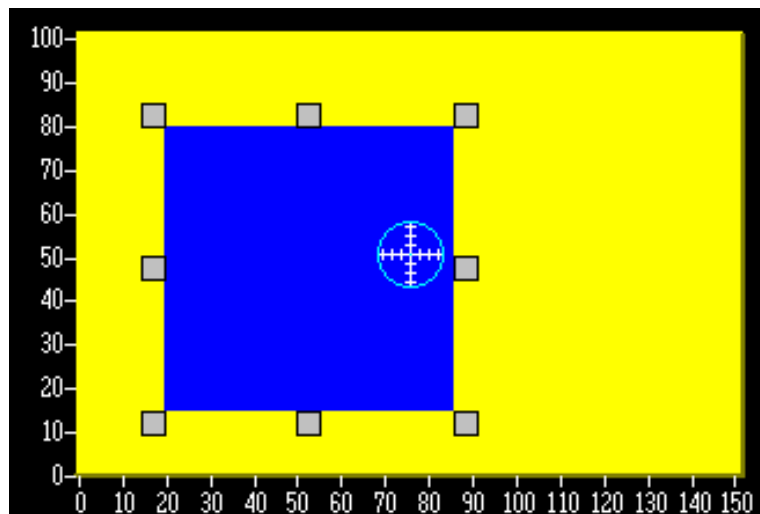


Figura 5.41. Poziționarea punctului Z-limită

Înainte de începerea scanării se impune o atentă verificare a fixării piesei pe masa mașinii. Așa cum s-a arătat pentru piese fără o suprafață corespunzătoare și convenabilă de bazare, așezare, orientare și fixarea piesei se poate face cu plastelină. Avantajul acestei fixări este evident, dar necesită o dexteritate și atenție specială a operatorului atât pentru asigurarea poziției cât și pentru evitarea eventualelor „smulgeri” sau defixări a piesei în timpul scanării.

După ce procesul de scanare a început softul Dr. PICZA ne arată estimativ și tipul total pe care îl are de făcut palpatorul pe suprafața dorită pentru a fi scanată, dar și forma pe care o redă în urma scanării suprafeței așa cum se arată în figura 5.42.

Din păcate și acest timp estimat nu este chiar cel real deoarece se modifică în funcție de complexitatea formei pe care acest palpator o întâlnește în timpul procesului de scanare cu contact. Timpul estimat piesa „mască” a fost de aproximativ 5 ore în realitate întregul proces de scanare însumând aproape 9 ore de scanat. Această eroare majoră de evaluare a softului mașinii reprezintă în special observarea la scanarea suprafețelor de complexitate mare.

După realizarea întregului proces de scanare forma finală rezultată este reprezentată în figura 5.43.

Dacă dorim să revedem parametri cu care această suprafață a fost scanată aceasta se poate vizualiza ori de câte ori avem nevoie (figura 5.44.).

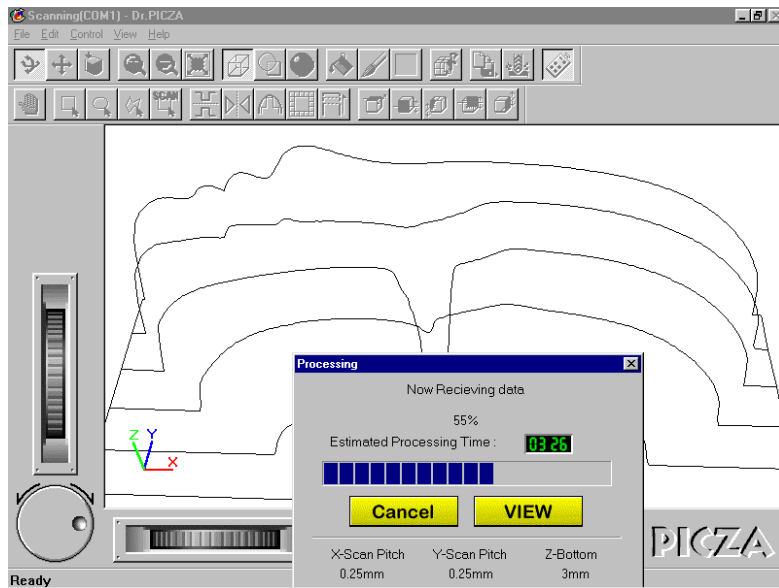


Figura 5.42. Timpul estimat și forma apropiată a scanării

Tot cu ajutorul softului Dr. PICZA se dă posibilitatea de a putea măsura virtual dimensiunile de gabarit ale suprafeței (figura 5.45.), dar de menționat că această suprafață este măsurată între două puncte alese de operator, deci nu se face o măsurare după conturul suprafeței.

Se observă că pentru punctele alese de operator pentru a măsura pe direcția axei X cât și pe direcția axei Y sunt date cele trei coordonate XYZ, (figurile 5.46 și 5.47.).

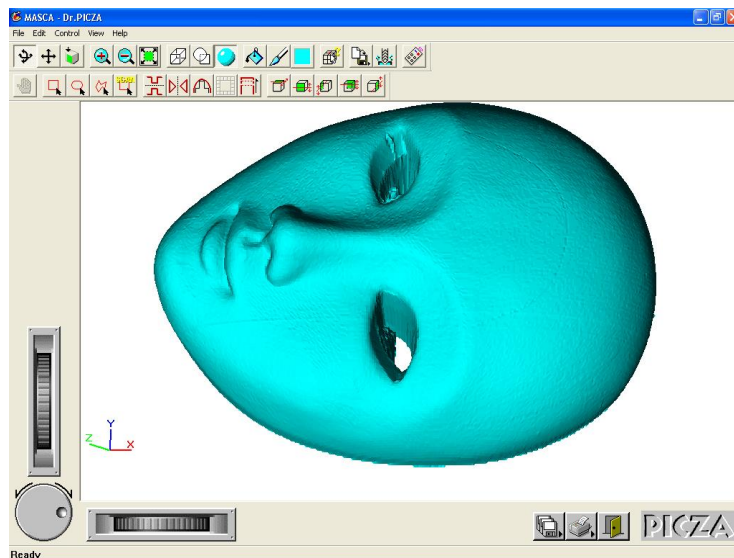


Figura 5.43. Forma finală a suprafeței

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 109

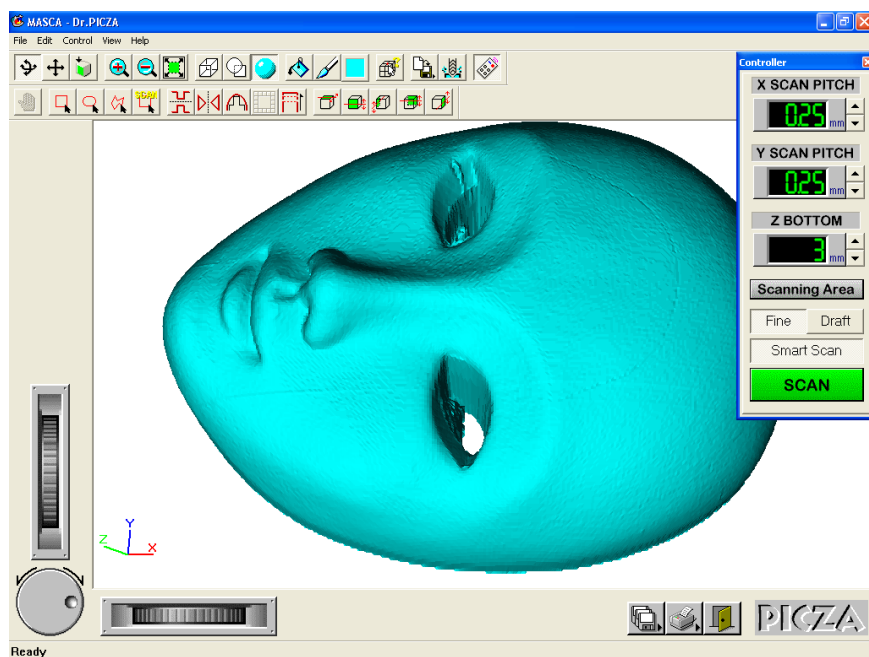


Figura 5.44. Revizualizarea parametrilor de scanare

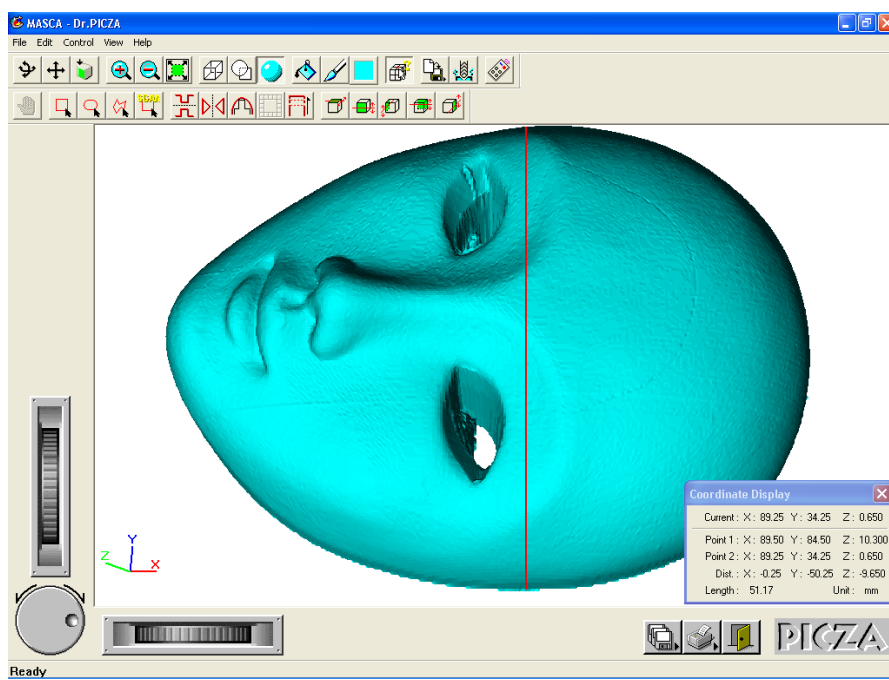


Figura 5.45. Dimensiunile de gabarit ale suprafeței rezultate după axele X și Y.

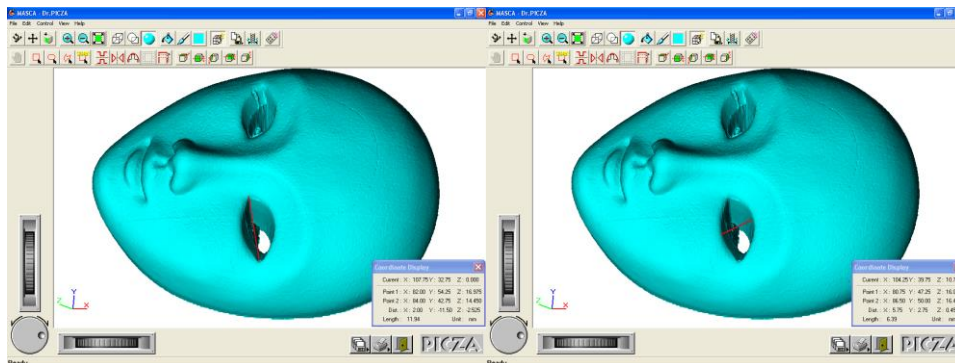


Figura 5.46. Dimensiunile de gabarit ale suprafeței rezultate în dreptul ochilor.

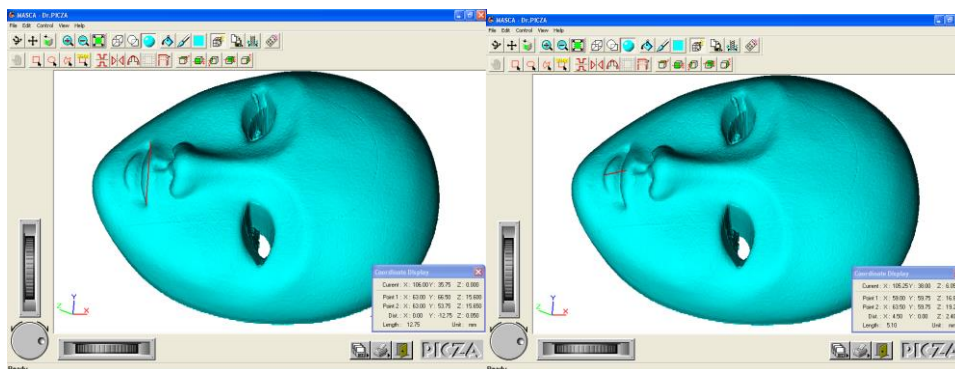


Figura 5.47. Dimensiunile de gabarit ale suprafeței rezultate în dreptul buzelor

Evaluarea dimensională pe XYZ în zone alese de operator este utilă și necesară pentru faza de prototipare propriu-zisă în opțiunea de alegere a sculelor pentru prelucrarea suprafețelor. De asemenea este importantă opțiunea pe care operatorul trebuie să o ia privind eventuale rescanneri în zone mai sensibile. Acest aspect devine important pentru piese active tip poanson în cazul injectării piesei în matriță. În figura 5.48. sunt prezentate suprafețele piesei „mască” din zona buzelor și a nasului pentru care s-a impus rescanneră.

Softul Dr. Picza al mașinii MODELA MDX 15 permite realizarea inversului părții scanate care este prezentată în figura 5.49. și care este utilă în definirea cavității matriței în cazul în care s-ar impune execuția piesei „mască” prin injectare.

Pentru obținerea solidului suprafeței scanate și deci realizarea modelului fizic, studiile teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au permis definirea algoritmului specific care folosește softuri cunoscute și uzuale, dar reduce substanțial numărul de încercări necesare.

Pentru început s-a ales folosirea softului: Dr. PICZA cu care este echipat mașina de scanat MODELA MDX 15, softul SolidWorks 2007 și CATIA.

De precizat ca softul CATIA este utilizat în acest caz numai pentru a salva fișierele în forma <*.stl>, aceste fișiere fiind de mărime considerabil mai mici decât cele rezultate din SolidWorks 2007. Procedura poate fi schematizată în figura 5.50.

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 111

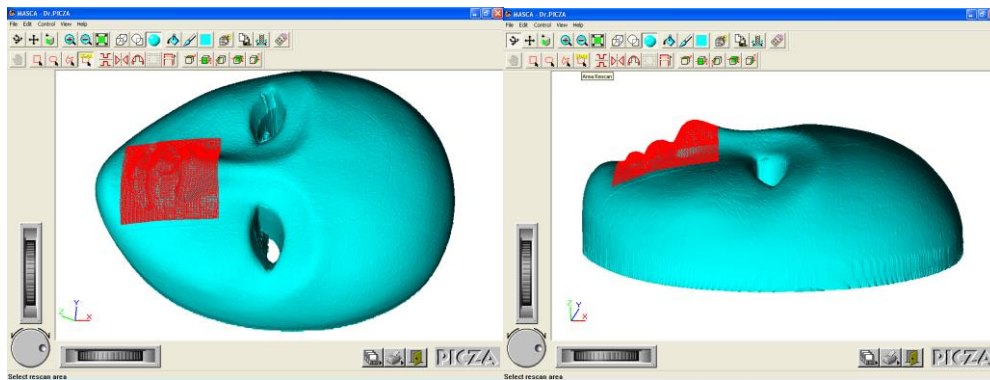


Figura 5.48. Rescanarea unei suprafețe în zone sensibile

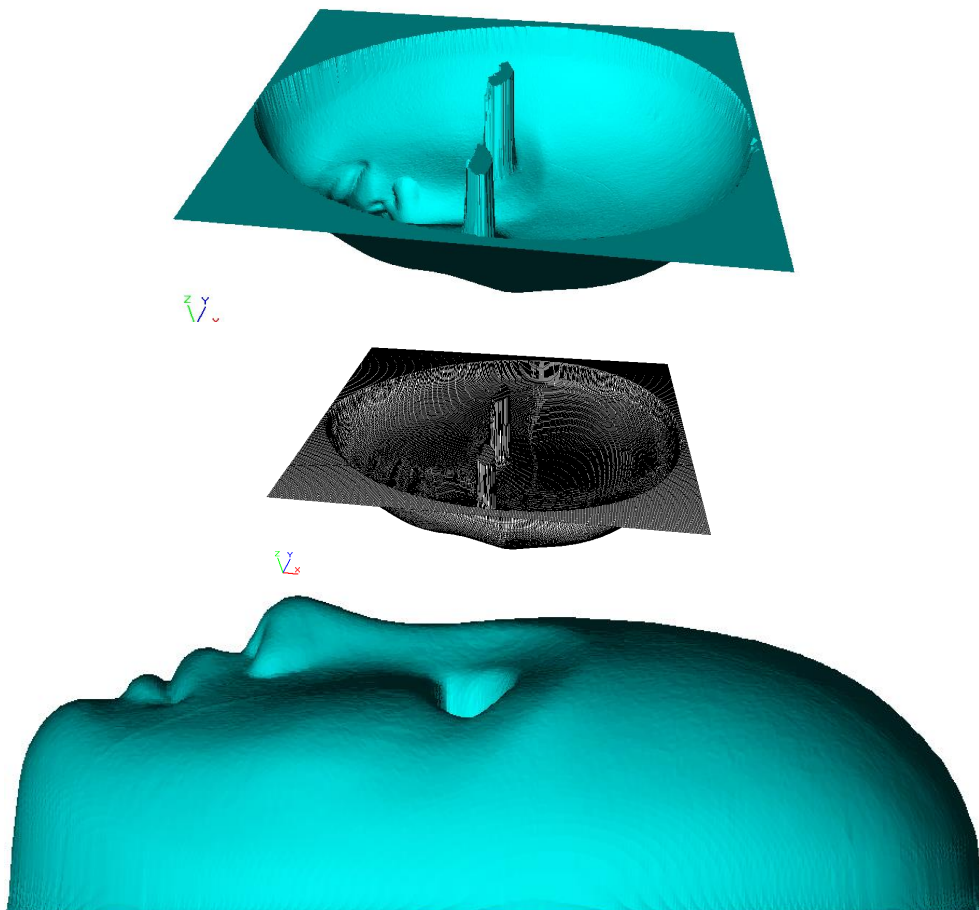


Figura 5.49. Forma inversă a suprafețe scanate

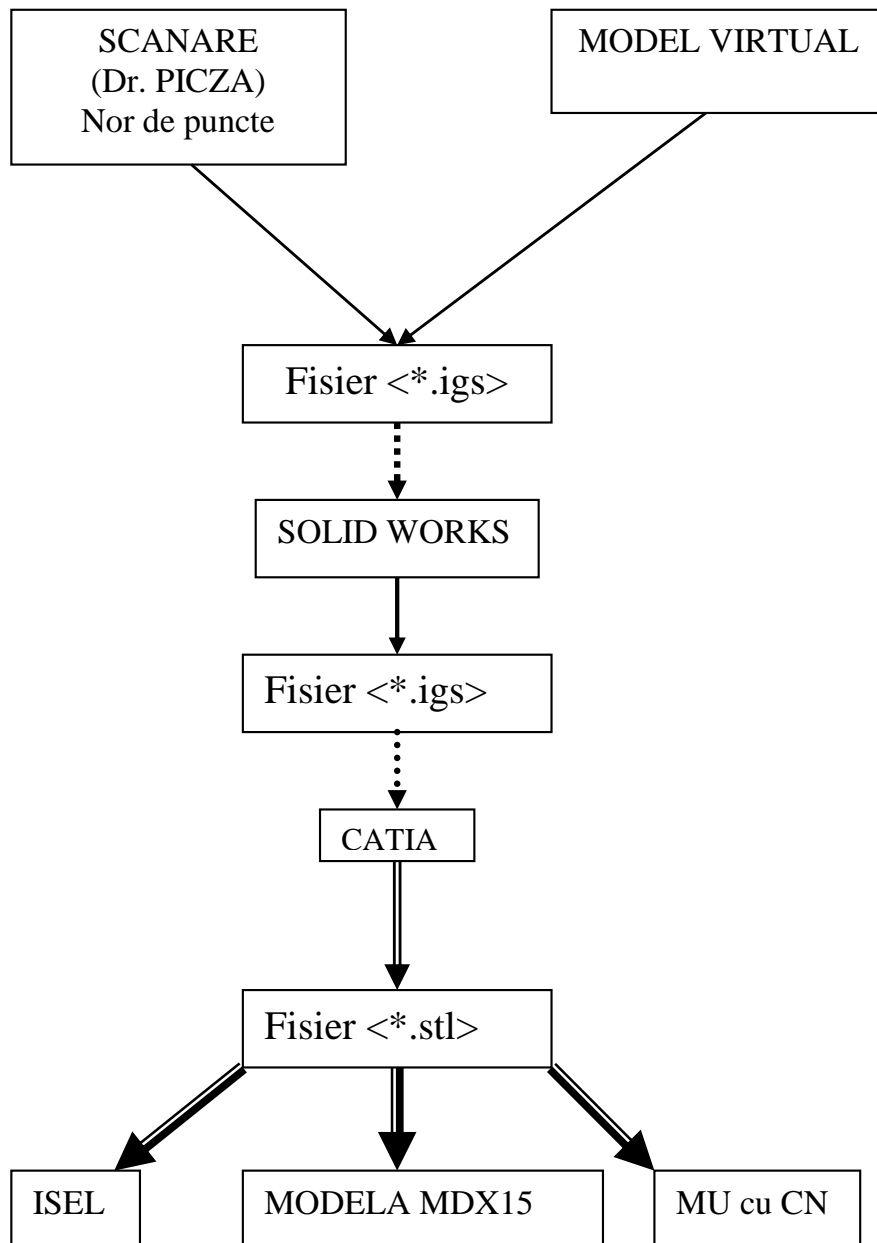


Figura 5.50. Schema algoritmului utilizat în vederea obținerii modelului solid

Acest algoritm este valabil atât pentru suprafețele rezultate în urma procesului de scanare pe mașina MODELA MDX 15 folosind softul Dr. PICZA, dar și pentru alte tipuri de suprafețe provenite din alte medii.

În cele ce urmează se prezintă amănunțit algoritmul ales în vederea obținerii solidului pentru suprafețe scanate pe modela și mai ales pentru ca aceste suprafețe să poată fi prelucrate pe diferite tipuri de mașini.

- Scanarea obiectului ales și salvarea lui cu extensia <*.igs> (figura 5.51);
- Importarea fișierului în softul SolidWorks 2007;
- Desenarea în planul de bază a unui dreptunghi și extrudarea acestuia până la suprafața importată (figura 5.52.);
- Salvarea fișierului din SolidWorks 2007 (figura 5.53.);
- La importarea fișierului ce face o diagnoză pentru a observa unele probleme apărute la importare (figura 5.54.);
- Ștergerea suprafeței scanate și ca atare rămâne corpul solid (figura 5.55);
- Resalvarea fișierului din Solid Works cu extensia <*.igs>, (figura 5.56).
- Importarea fișierului în softul CATIA (figura 5.57). Această importare are rolul numai de a salva fișierul solid în extensia <*.stl> această extensie fiind considerabil mai mică decât fișierul de la care s-a plecat;

Prelucrarea fișierului pe mașina ISEL și pe mașina MODELA MDX 15. Odată obținut acest format de fișier el poate să fie prelucrat pe diferite tipuri de mașini.

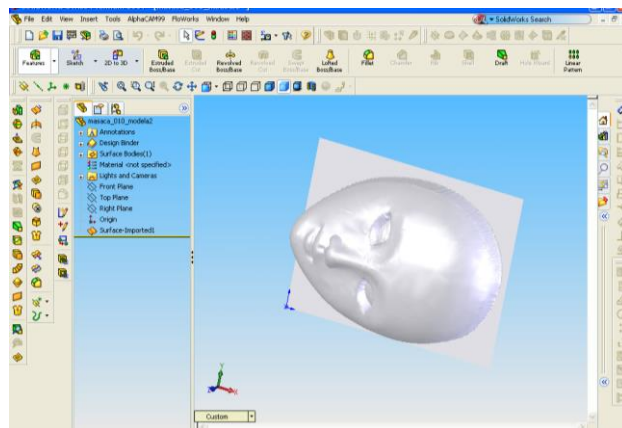


Figura 5.51. Importarea fișierului rezultat în urma scanării

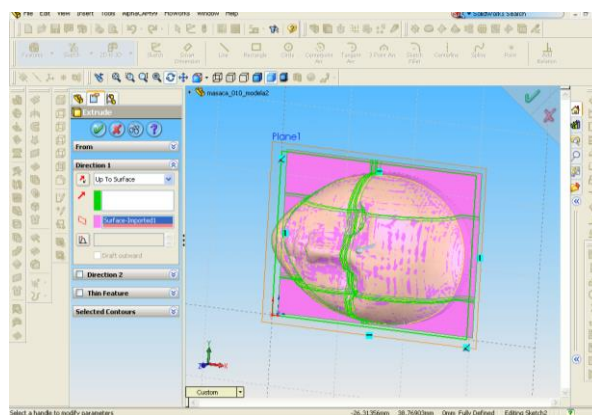


Figura 5.52. Desenarea în planul de bază a unui dreptunghi și extrudarea acestuia până la suprafața importată

114 Cerc. Exp. privind scan. și gen. mod. virt. pentru piese cu supraf. complexe - 2

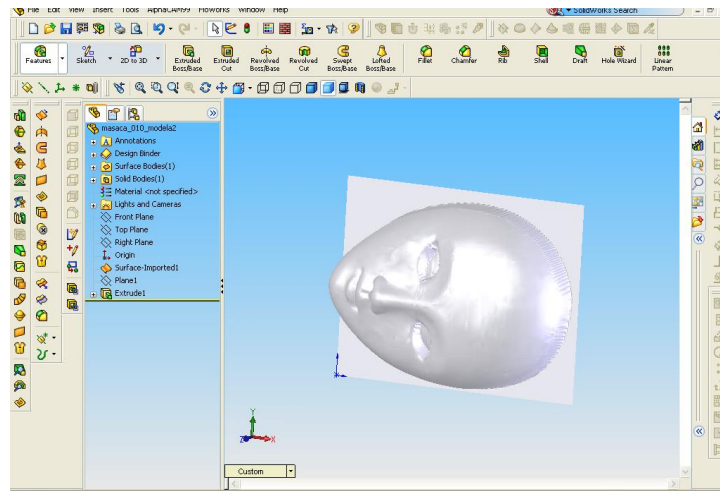


Figura 5.53. Salvarea fișierului din SolidWorks 2007

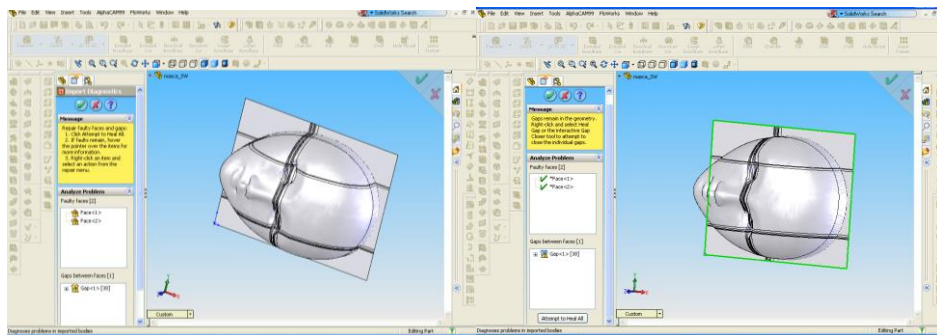


Figura 5.54. Diagnoză la importarea fișierului

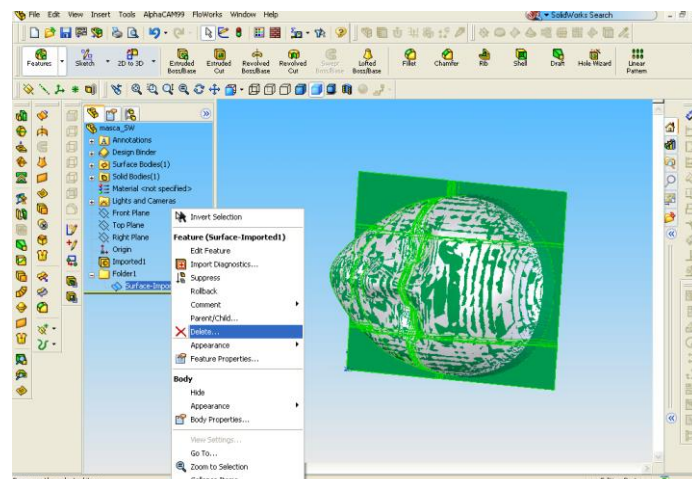


Figura 5.55. Ștergerea suprafeței scanate și obținerea corpului solid

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 115

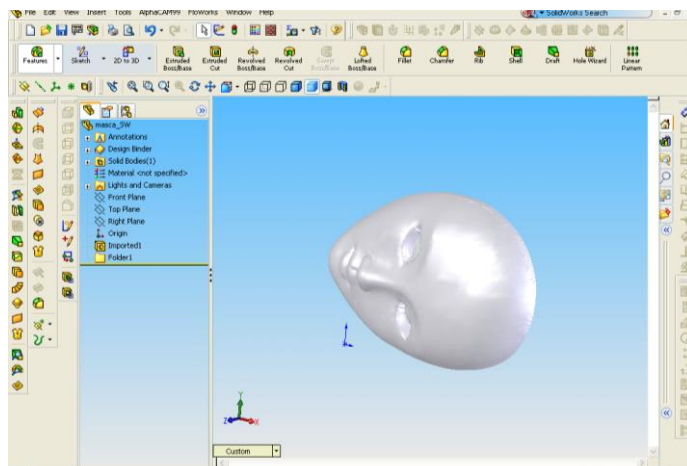


Figura 5.56. Resalvarea fișierului din Solid Works cu extensia <*.igs>.

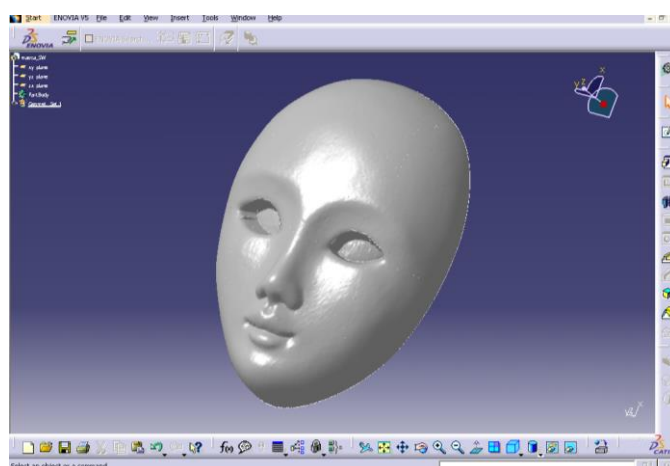


Figura 5.57. Importarea fișierului în softul CATIA.

Referitor la algoritmul de obținere a solidelor în urma procesului de scanare prin contact folosind mașina MODELA MDX 15 cea mai importantă concluzie rezultată este următoarea:

Există posibilitatea de obținerii de fișiere <*.STL> de valoare mult mai mici față de cele <*.IGS>.

Aceste fișiere obținute respectă configurația piesei scanate și conferă cel mai important avantaj și anume că **se poate prelucra fișierul pe mașina MODELA MDX 15**, dar nu numai pe aceasta.

Ca și valori se observă ca fișierul rezultat din Solid Works are o valoare de 38,4MB iar fișierul rezultat are o mărime de 29,5 MB, ceea ce înseamnă o micșorare de aproximativ 76% din fișierul inițial. Tot aici s-a observat că softul Solid Works are mari probleme în a salva fișierele sub extensia <*.stl>, ceea ce a impus folosirea unui alt program cum ar fi CATIA.

Mărimea fișierului rezultat este influențată direct de metodologia stabilită la începutul scanării, respectiv pentru o scanare de mare finețe (adică din 0,10 mm) rezultând un fișier de capacitate 3,7 Mb.

După un control al formei rezultate se poate trece la pasul următor și anume la salvarea sau exportul fișierului rezultat. Pentru a verifica forma obținută în urma procesului de scanare s-a decis ca acest fișier să fie salvat sub forma de nor de puncte având extensia <point group> așa cum se arată în figura 5.58. Mărimea fișierului exportat este de 8,8Mb și se observă o creștere semnificativă a mărimi fișierului, practic o dublare a acestuia.

Pentru verificarea formei obținute în urma procesului de scanare s-a optat pentru un soft care să poată fi ușor disponibil și nu necesită o pregătire prealabilă, iar costurile de achiziție să fie minime. Din aceste considerente s-a optat pentru utilizarea programului de proiectare 3D **SolidWorks 2008**, iar în figura 5.59 se arată forma obiectului importat în SolidWorks.

Primul pas a fost transformarea „norului de puncte” în „Mesh”. Se procedează la utilizarea modului „Mesh Prep Wizard” (figura 5.60) din cadrul softului Solid Works 2008.

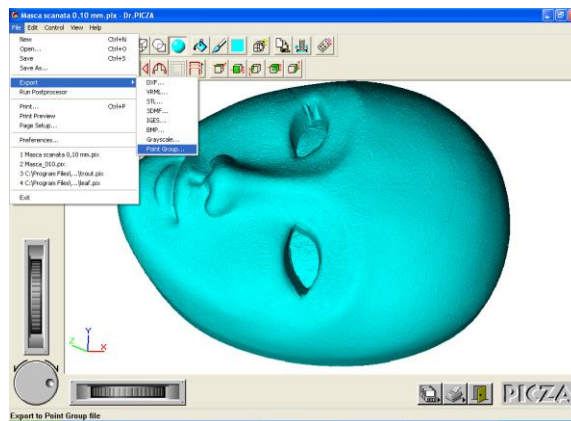


Figura 5.58. Exportarea fișierului sub extensia <Point group>

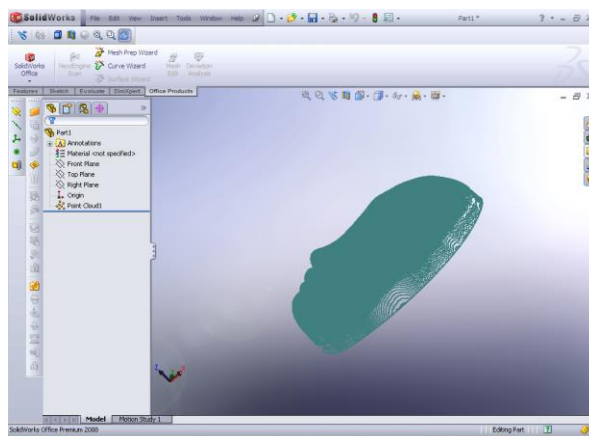


Figura 5.59. Forma rezultată ca urmare a importării acesteia în Solid Works2008

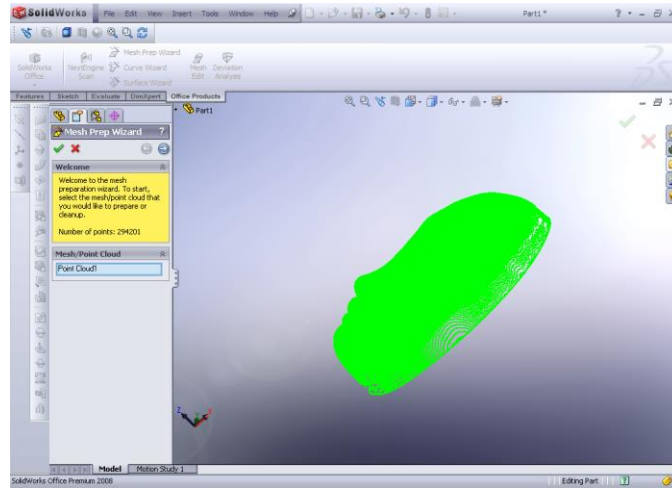


Figura 5.60. Utilizarea modului „Mesh Prep Wizard” din Solid Works 2008

Utilizarea modului „Mesh Prep Wizard” duce la cunoașterea tuturor pașilor de realizarea a mesh-ului . Un prim pas este legat de orientarea norului de puncte figura 5.61.

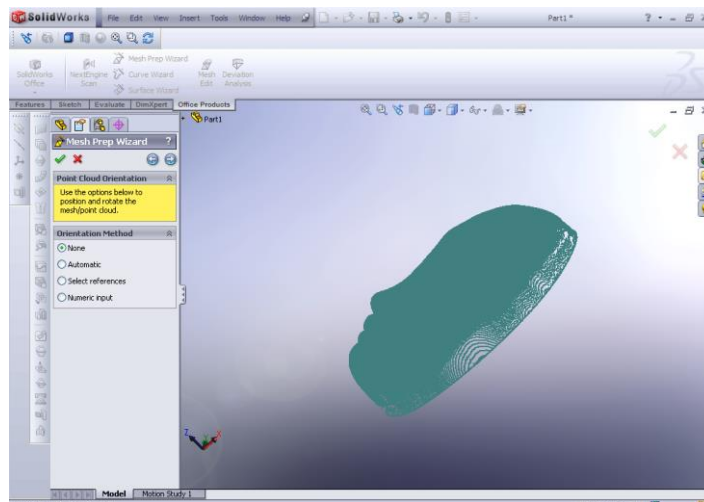


Figura 5.61. Orientarea norului de puncte

Următoarea etapă este legată de reducerea numărului de noduri ale norului de puncte (figura 5.62), o reducere prea mare a numărului de noduri conducând la o reprezentare puțin fidelă a formei rezultate. S-a optat pentru păstrarea număr de noduri.

Figura 5.63 se referă la posibilitatea de extragere a unei anumite părți. S-a optat să nu se ștergă nici o parte și să avem o suprafață cât mai precisă și mai apropiată la final față de ceea ce ne-am propus.

În pasul următor este vorba despre o parte foarte importantă a procesului de realizare a meshului. În urma mai multor încercări s-a observat că avem nevoie de o simplificare a formei adică o reducere procentuală a norului de puncte. Aceasta

reducere s-a realizat în funcție de posibilitatea și de capacitatea de funcționare la capacitate maximă a calculatorului PC, așadar s-a optat pentru o reducere cu 70% față de cea rezultată (figura 5.64).

Figura 5.65. este reprezentativă pentru realizarea și construirea primului mesh din norul de puncte. Pentru a avea forma rezultantă în acest soft avem posibilitatea de a face operația de cosmetizare „smoothness”. Această cosmetizare se poate realiza global, local sau de contur (Boundary). Am optat pentru un „global smoothness” figura 5.66., iar forma rezultată în urma procedurii este prezentată în figura 5.67. [DUM 08].

Așa cum se observă și în figura 5.68. după ce utilizăm funcția smoothness cu linie de culoare galbenă se indică conturul forme, și se trece la partea de transformare în mesh prima etapă realizându-se linia galbenă, care se transformă în linie de culoare verde (figura 5.69.).

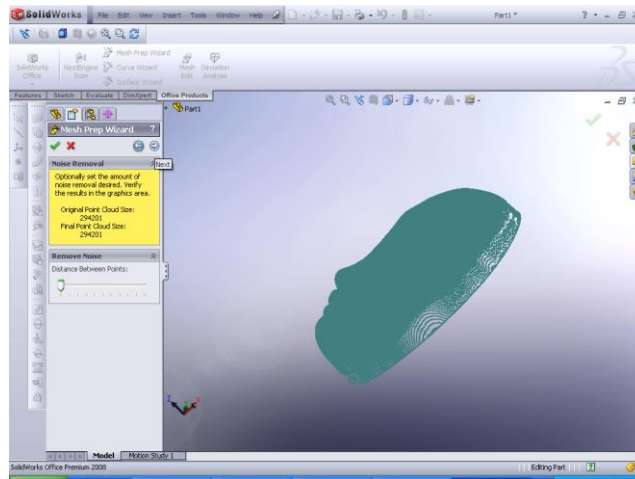


Figura 5.62. Posibilitate de reducere a norului de puncte.

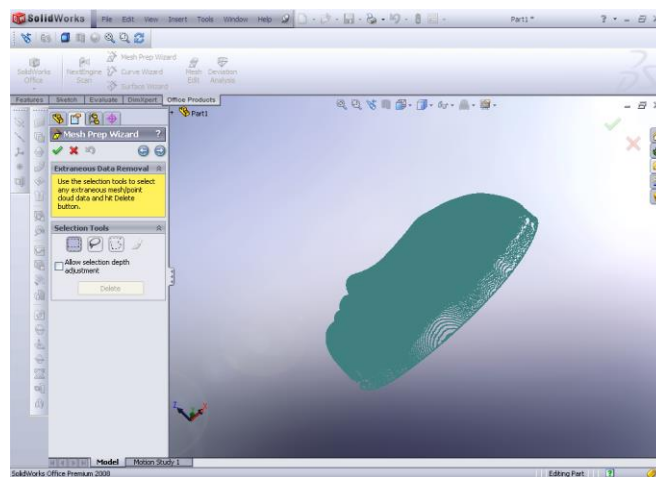


Figura 5.63. Posibilitatea de ștergere a anumitor părți

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 119

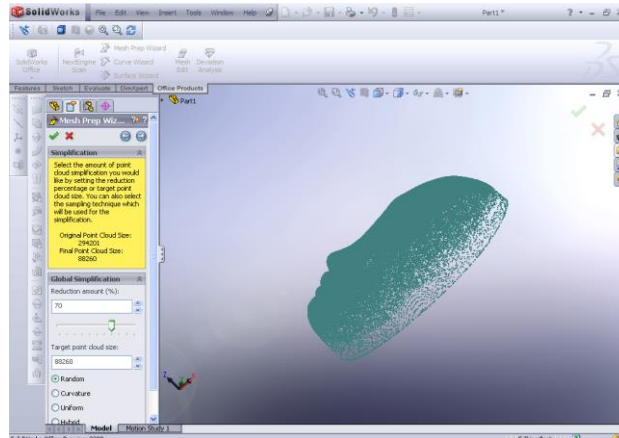


Figura 5.64. Reducerea numărului de puncte.

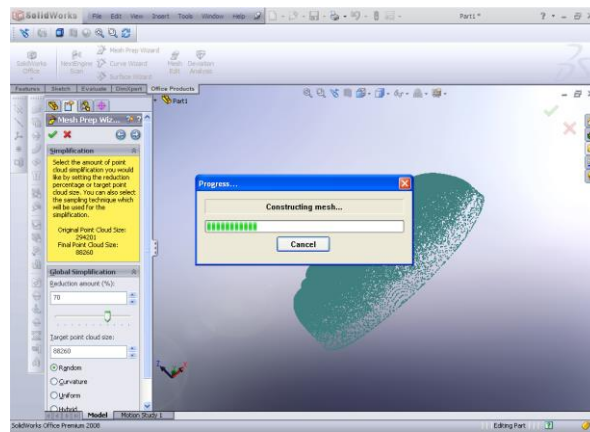


Figura 5.65. Realizarea și construirea meshului

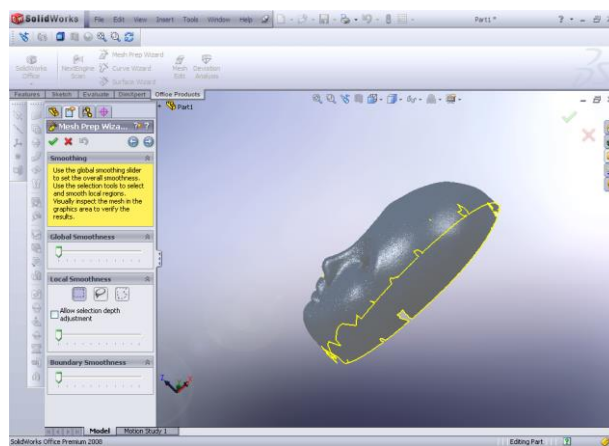


Figura 5.66. Utilizarea funcției „smoothness”

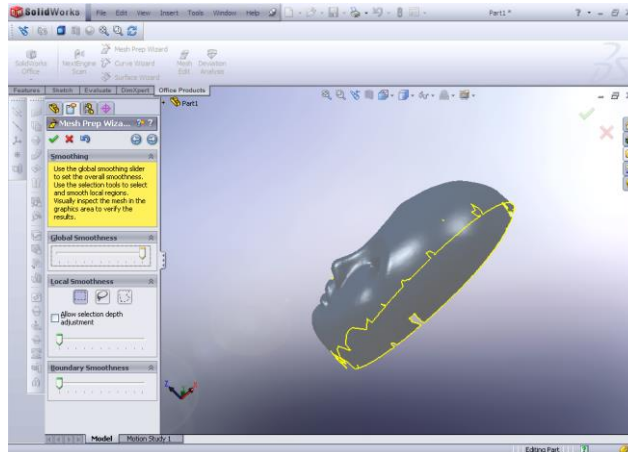


Figura 5.67. Rezultatul utilizării funcției „global smoothness”

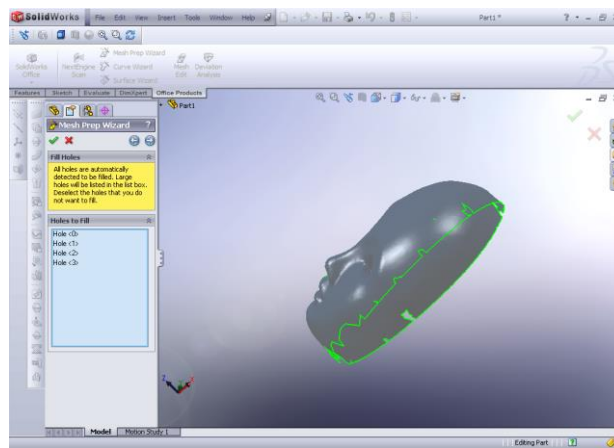


Figura 5.68. Selectarea linie de contur

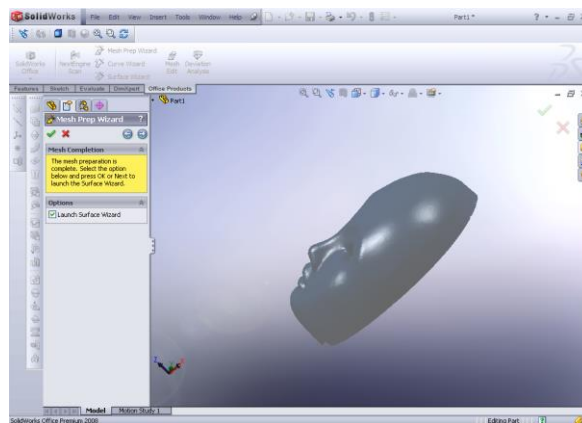


Figura 5.69. Confirmarea că toți pașii în realizarea meshului au fost respectați

Următoarea etapă pas se referă la o confirmare ca toți pașii care au trebuit să fie urmați pentru realizarea meshului, au fost realizații corespunzător. După ce s-a realizat din norul de puncte meshul, se trece la cea mai importantă etapă și anume la transformarea meshului în solid, asupra acestui solid putându-se interveni în programele 3D reușind să facem modificările adecvate cerințelor. Pentru această etapă se trece la utilizarea modului „surface wizard” tot din SolidWorks 2008, (figura 5.70.).

Pasul următor îl reprezintă crearea automată a suprafeței reprezentată în figura 5.71.după care se trece la confirmarea numărului de fațete care alcătuiesc suprafața (figura 5.72.). Forma finală rezultată în urma acestui proces este redată în figura 5.73. Ca și o primă concluzie se observă că solidul are unele imperfecțiuni cea ce impune repararea meshului rezultat din norul de puncte. Cel mai bine aceste imperfecțiuni se pot observa atunci când importăm meshul în solid works așa cum este prezentat în figura 5.74. Imperfecțiunile meshului se observă foarte clar prin lipsa (goluri) unor anumite părți din mesh.

O abordare personală a rezolvării problemei legate de imperfecțiunile meșului rezultat constă în utilizarea facilităților softului CATIA utilizat în prelucrări. Aceste facilități ar putea fi utilizate pentru repararea „golurilor” anterior constatate în forma meșului.

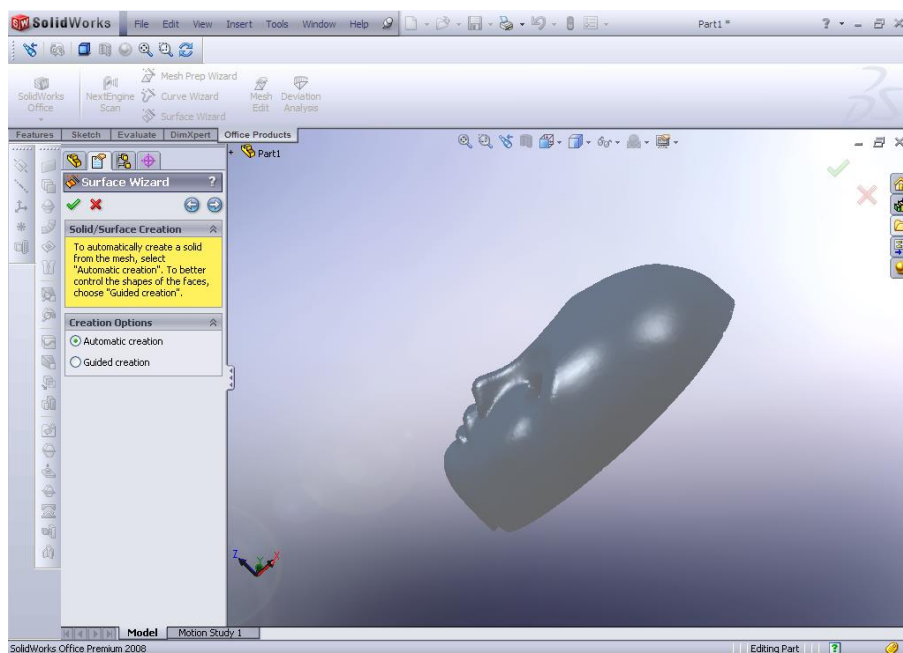


Figura 5.70. Utilizarea funcției Surface wizard

122 Cerc. Exp. privind scan. și gen. mod. virt. pentru piese cu supraf. complexe - 2

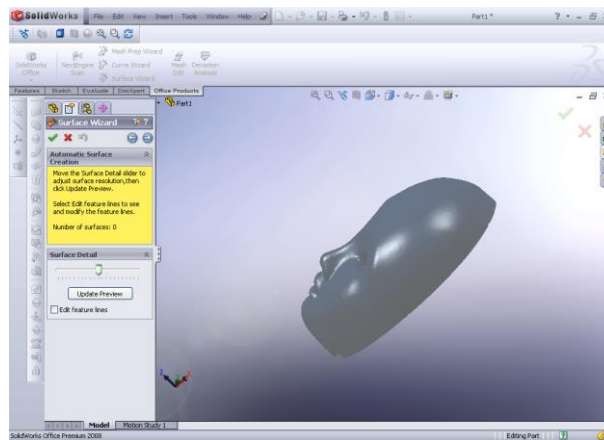


Figura 5.71. Crearea automată a suprafeței

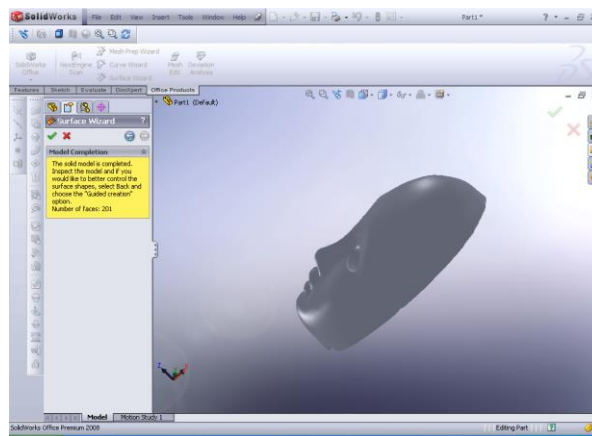


Figura 5.72. Editarea numărului de fațete care alcătuiesc modelul.

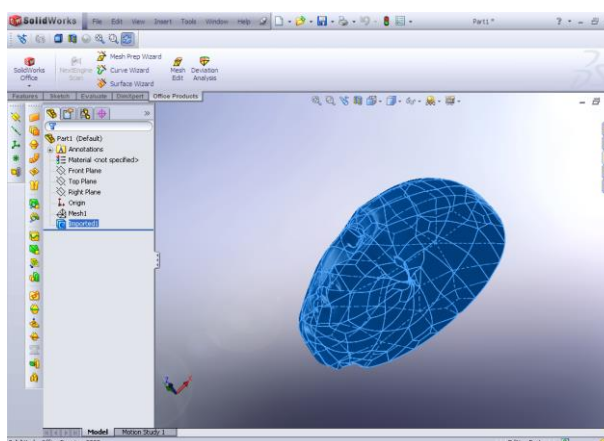


Figura 5.73. Forma solidului rezultat in urma transformării

Importarea meșului în Solid Works indică problema ce apar datorită procesului de scanare prin contact. Pentru a rezolva aceste probleme am ajuns la concluzia ca fișierul rezultat în urma procesului de scanare trebuie să aibe forma de mesh. Acest mesh este importat apoi în CATIA sub extensia de mesh provenită din softul SolidWorks (figura 5.75.).

Folosind apoi modulul de mesh din cadrulul softului CATIA (figura 5.76.), am reușit să reparăm acest inconvenient și mai ales să putem utiliza această formă complexă mai departe în proces (figura 5.77.). Așa cum se observă în figura 5.78. se constată că avem multe porțiuni de acest gen, ceea ce impune repararea sa în întregime ca în final să se obțină un mesh ca cel arătat în figura 5.79.

După ce s-a verificat atent ca să nu existe nici o suprafață de reparat vom relua procedeul cu ajutor softului SolidWorks (figurile 5.80., 5.81.) dar pornind de această dată de la acest mesh și nu de la norul de puncte rezultat în urma scanării. În figurile 5.82 se prezintă succesiv imaginile care indică modul de lucru și rezultatele obținute. În figura 5.83, 8.84, 5.85. se arată finalizarea procesului de transformare a meșului în suprafață. Figura 5.86 ne arată forma importată în Solid Works a suprafeței, iar figura 5.87 ne sugerează forma finală după o diagnosticare a problemelor apărute la importare. Ce se observă foarte clar este faptul că fișierul rezultat din SolidWorks sub formă de STL nu poate fi folosit mai departe în prelucrări, ceea ce a dus la importarea lui în CATIA și salvarea din CATIA sub extensia STL. Această extensie provenită din CATIA poate fi utilizată de orice program de prelucrare și comandă numerică.

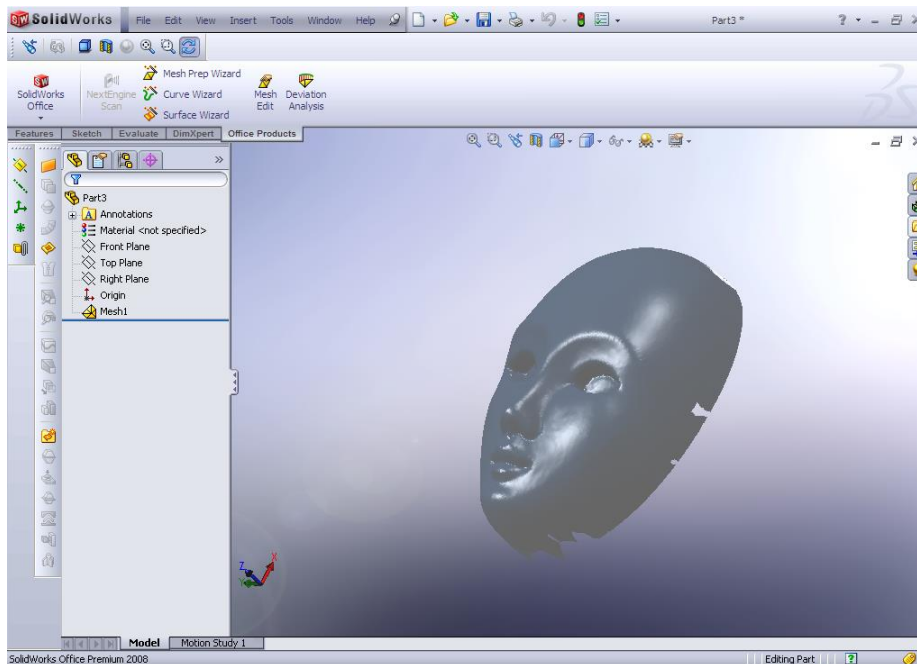


Figura 5.74. Importarea meșului în Solid Works

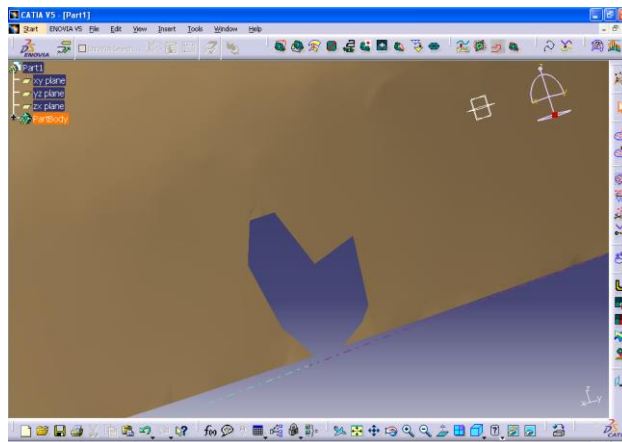


Figura 5.75. Imperfecțiunile apărute în urma procesului de scanare

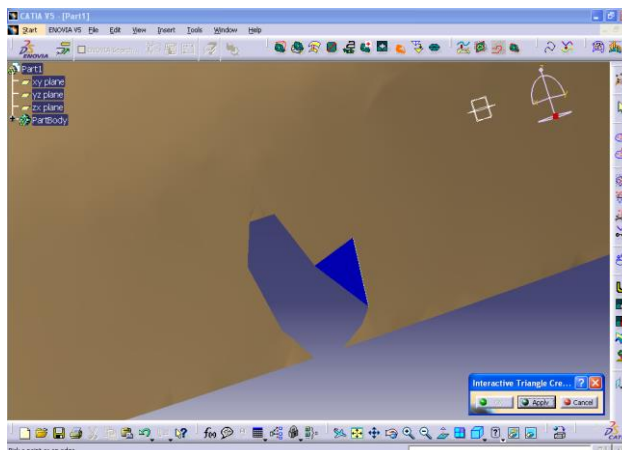


Figura 5.76. Utilizarea modului mesh „Digitized Shape Editor”

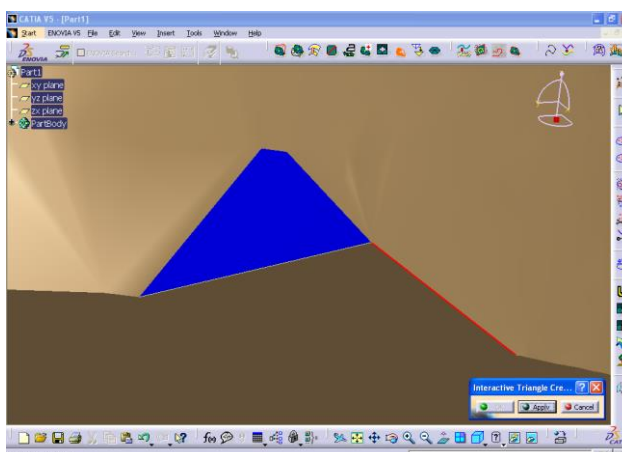


Figura 5.77. Repararea meshului

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 125

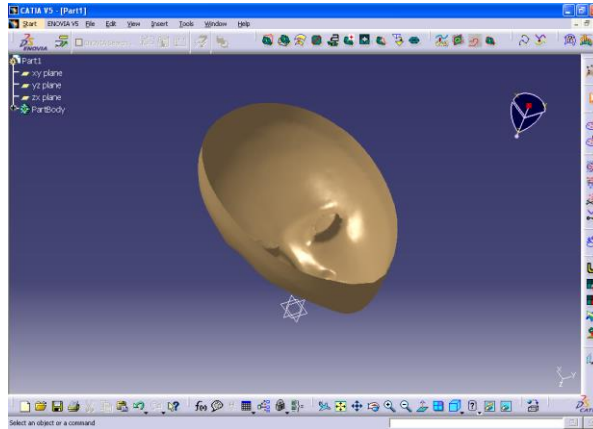


Figura 5.78. Forma finală a meshului

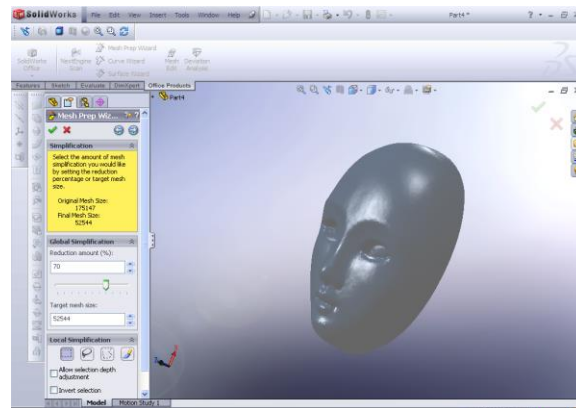


Figura 5.79. Reluarea procesului de transformare în solid

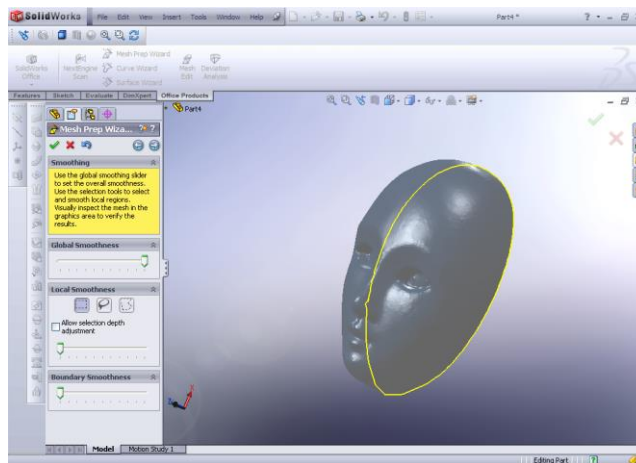


Figura 5.80. Reluarea procesului de transformare în solid

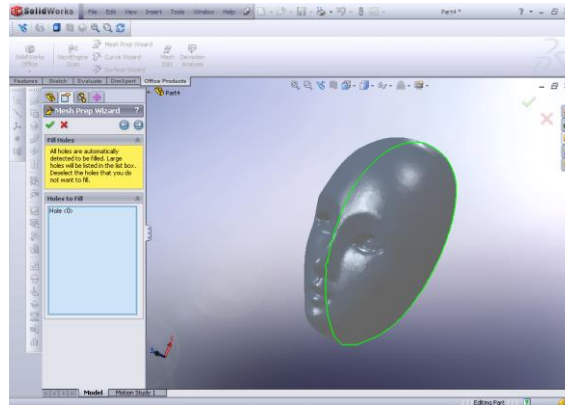


Figura 5.81. Reluarea procesului de transformare în solid

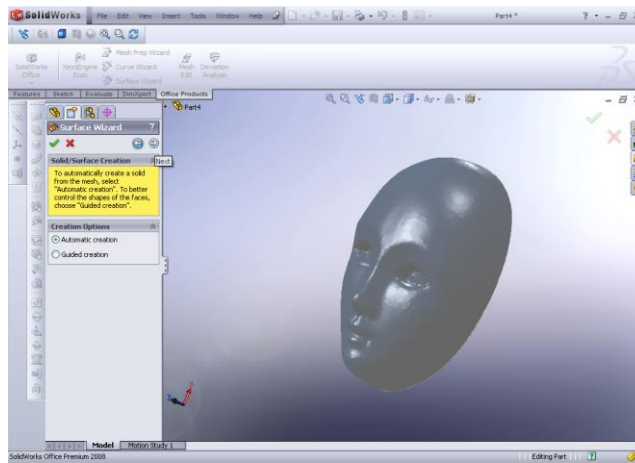


Figura 5.82. Reluarea procesului de transformare în solid

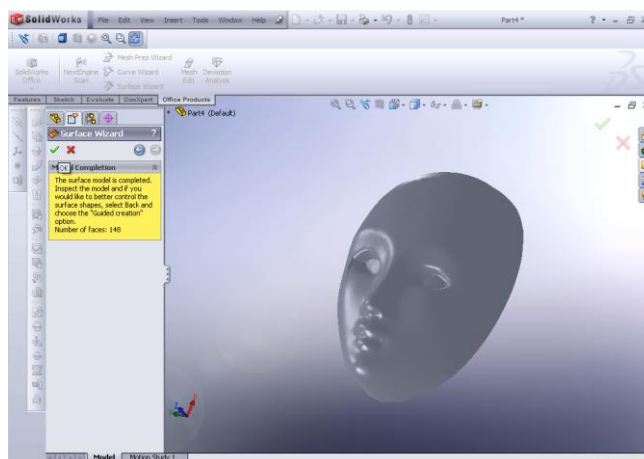


Figura 5.83. Finalizarea procesului de transformare din mesh în solid

5.1 – Studiu de caz pentru scanarea unui reper „priză” 127

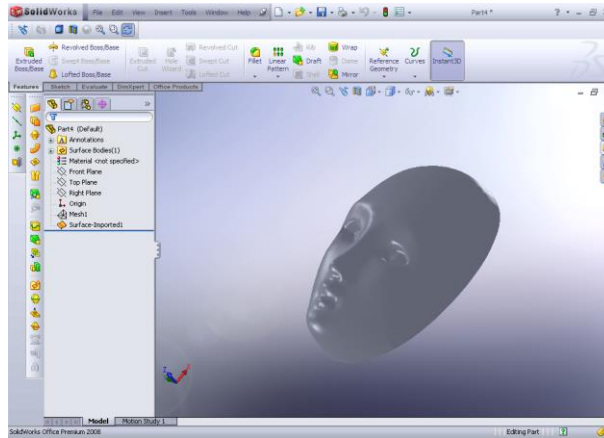


Figura 5.84. Finalizarea procesului de transformare din mesh în solid

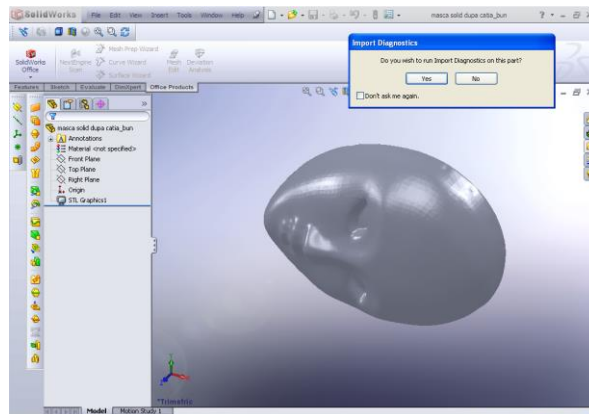


Figura 5.85. Importarea fișierului STL în Solid Works

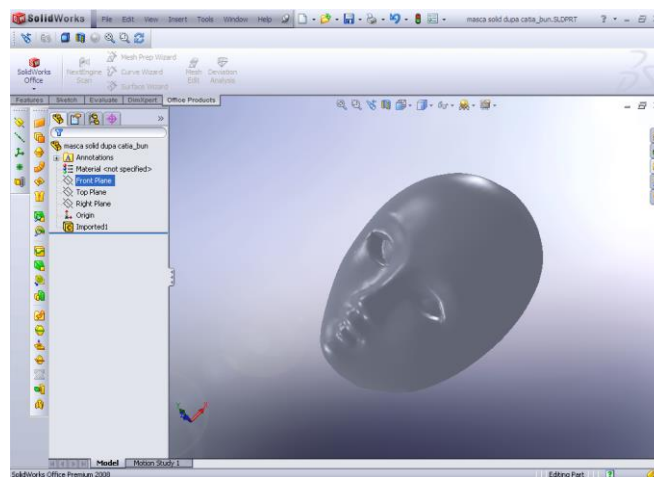


Figura 5.86. Forma finală a fișierului în Solid Works

128 Cerc. Exp. privind scan. și gen. mod. virt. pentru piese cu supraf complexe - 2

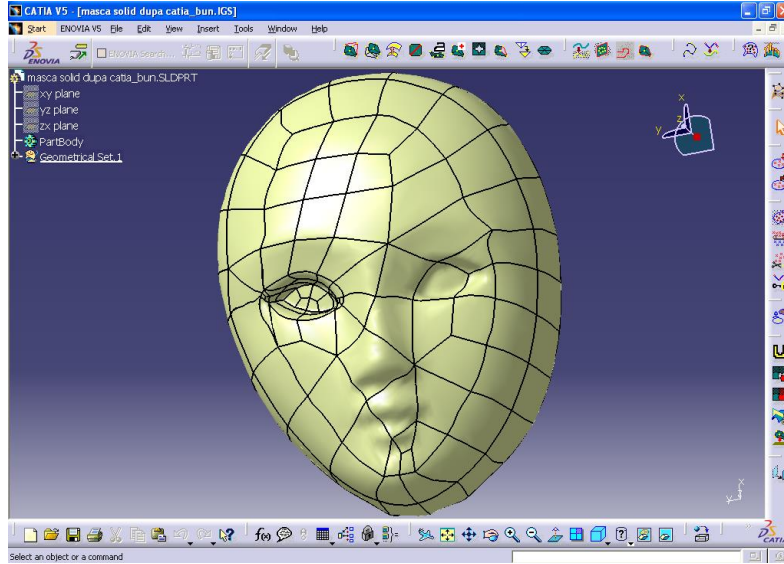


Figura 5.87. Forma importată STL în CATIA

6. CERCETĂRI PRIVIND REALIZAREA PRIN PROTOTIPARE RAPIDĂ A MODELELOR FIZICE ȘI EVALUAREA ACESTORA

După determinarea modelului virtual utilizând tehnici de scanare și facilitățile oferite de echiparea în tehnică de calcul (hard și soft) a unei platforme operaționale urmează etapa realizării fizice prin prototipare.

În cadrul tezei, pentru a evidenția facilitățile și limitele operaționale ale platformei s-a procedat la prototiparea a două repere reprezentative pentru piese din materiale „polimerice” injectate în matrită și anume un „receptor de telefon” și piesa tip „priză”.

Pentru piesa tip „mască” reprezentativă prin tipul de probleme pe care le-a ridicat în faza de scanare și definire a modelului virtual s-a procedat la prototiparea modelului fizic făcându-se un studiu comparativ privind rezultatele obținute prin utilizarea fie a mașinii MODELA MDX 15, fie a mașini ISEL fie a unei mașini de frezat uzinale CNC.

În acest studiu comparativ evaluarea rezultatelor s-a făcut cu raportare la 3 indici principali de performanță și anume:

- Precizia de execuție în raport cu modelul virtual;
- Durata și versalitatea procedurii;
- Costurile estimate pentru același nivel de performanță.

În cadrul acestui capitol s-a resimțit nevoia prezentării succesive a fiecărei faze de prototipare pentru a ne putea evalua pas cu pas orice intervenție posibilă pentru îmbunătățirea procesului. Ca atare acolo unde a fost cazul s-au făcut comentariile de rigoare.

6.1. Prototiparea prin frezarea unui reper tip „receptor de telefon”

Pentru realizarea modelului virtual CAD 3D a receptorului s-a utilizat programul SolidWorks 2006, cu ajutorul căruia s-a reușit să se definească piesa și să obțină un model virtual.

Pentru reușita transformării modelului virtual în model fizic s-au realizat încă din faza de concepție și proiectare un număr de 4 „nervuri pentru rigidizarea modelului” așa cum sunt prezentate în figura 6.1

După ce obiectul este obținut virtual, softul utilizat ne dă posibilitatea de a putea fi salvat cu extensia <*.STL>, acesta putând fi importat de softul pe care-l utilizăm pe mașina de prototipat MODELA MDX15 și anume MODELA PLAYER.

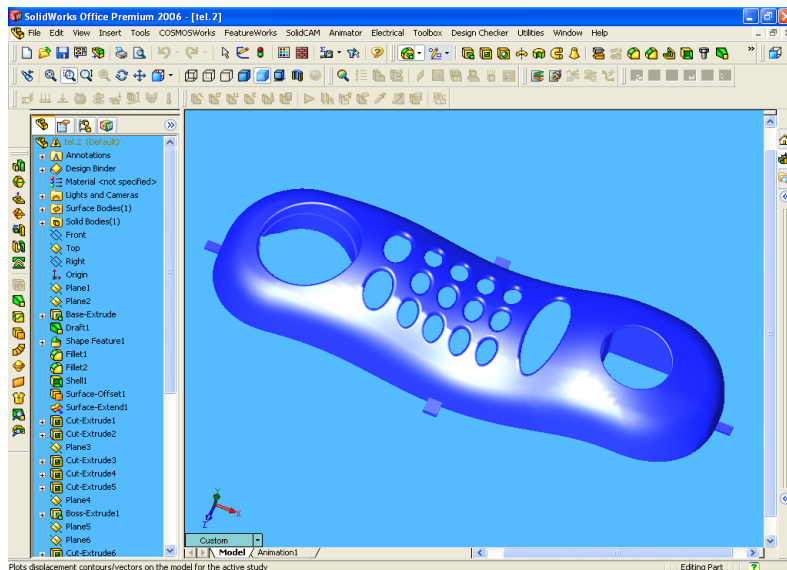


Figura 6.1. Modelul 3D al piesei de realizat.

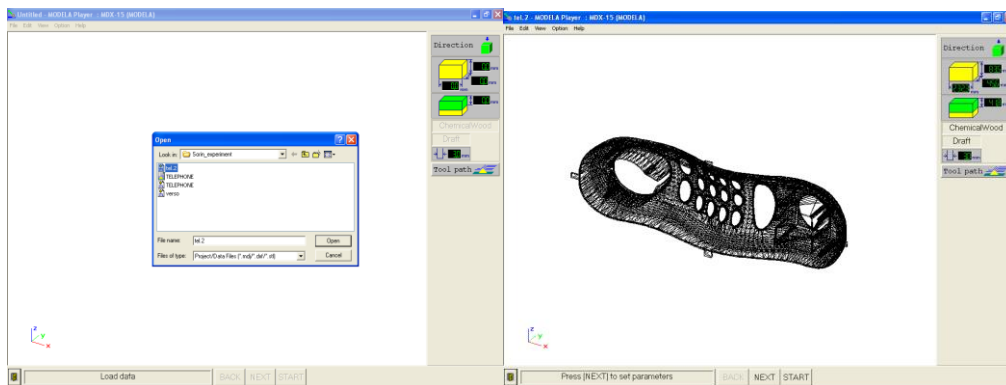


Figura 6.2. Importarea modelului 3D al piesei în Modela Player sub extensie <*.STL>

Importarea datelor în Modela Player se poate face și sub format <*.DXF> figura 6.2.

Formatul <*.STL> face o împărțire a suprafețelor în triunghiuri foarte mici , triunghiuri după care softul utilizat va putea să-și realizeze traiectoria sculei.

Softul Modela PLAYER oferă posibilitatea de a utiliza și alte mașini cum ar fi: MODELA MDX-3, MDX-500, PNC-2300, PNC-300, PNC-3000, PNC-3100, PNC-3200, ultimele 5 fiind mașini cu comenzi numerice ale aceluiași producător ROLAND (figura 6.3.).

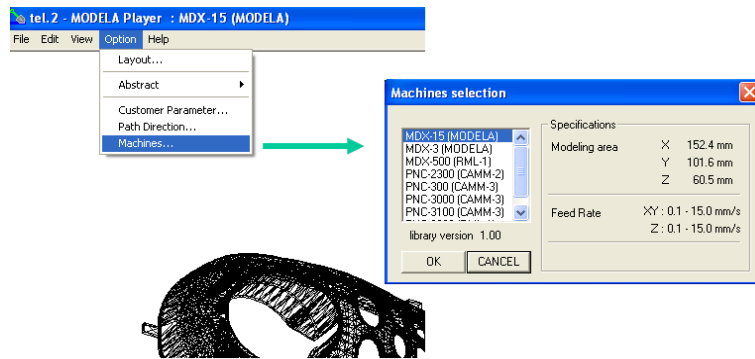


Figura 6.3. Alegerea mașinii de prototipat

În fereastra de alegere a mașinii sunt precizate suprafața de lucru a mașinii de prototipat în coordonate pe cele 3 axe ($X_{max} = 152,4\text{mm}$, $Y_{max} = 101,6\text{mm}$, $Z_{max} = 60,5\text{mm}$) și gama de avansuri pe cele 3 axe ($XY: 0,1 - 15,0\text{ mm/s}$, $Z: 0,1 - 15,0\text{ mm/s}$).

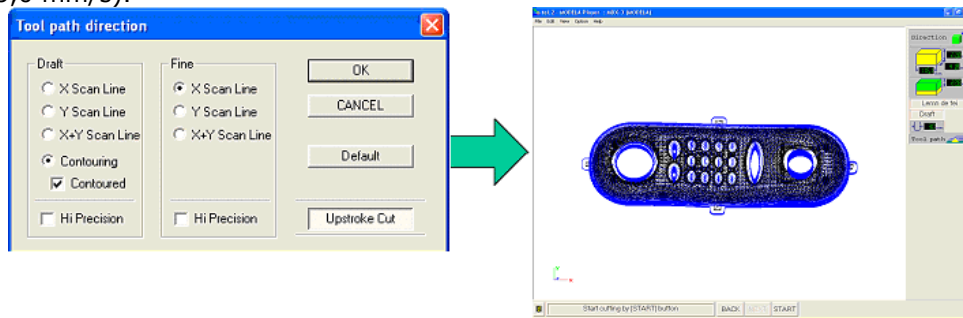


Figura 6.4. Alegerea traiectoria sculei

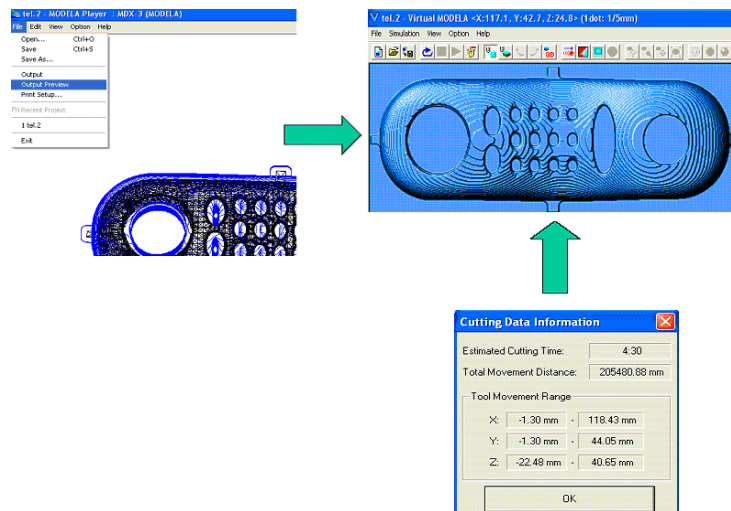


Figura 6.5. Simularea frezării la degroșare

Alegerea traiectoriei sculei pentru prelucrarea pe fața frontală este prezentată în figura 6.4. și simularea virtuală este prezentată în figura 6.5.

După terminarea degroșării, se schimbă parametrii de degroșare la cei de finisare figura 6.6.

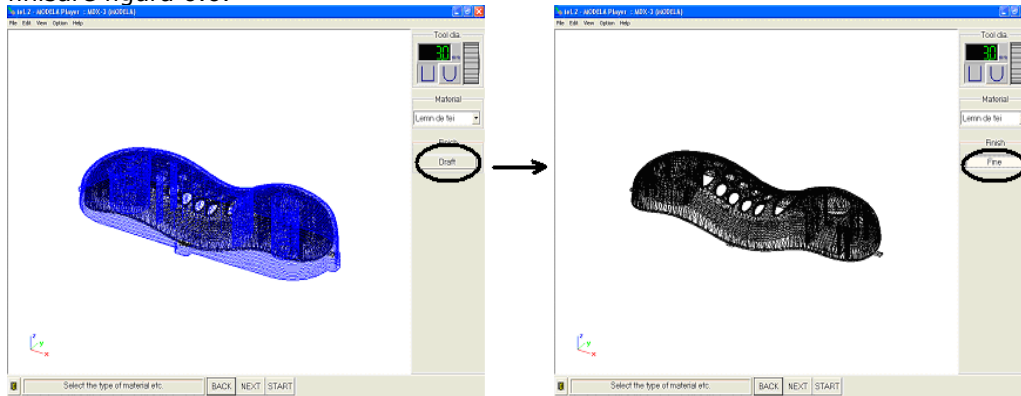


Figura 6.6. Posibilitatea de modificare a parametrilor pentru finisare

Crearea traiectoriei sculei și simularea virtuală a frezării la finisare este redată în figura 6.7.

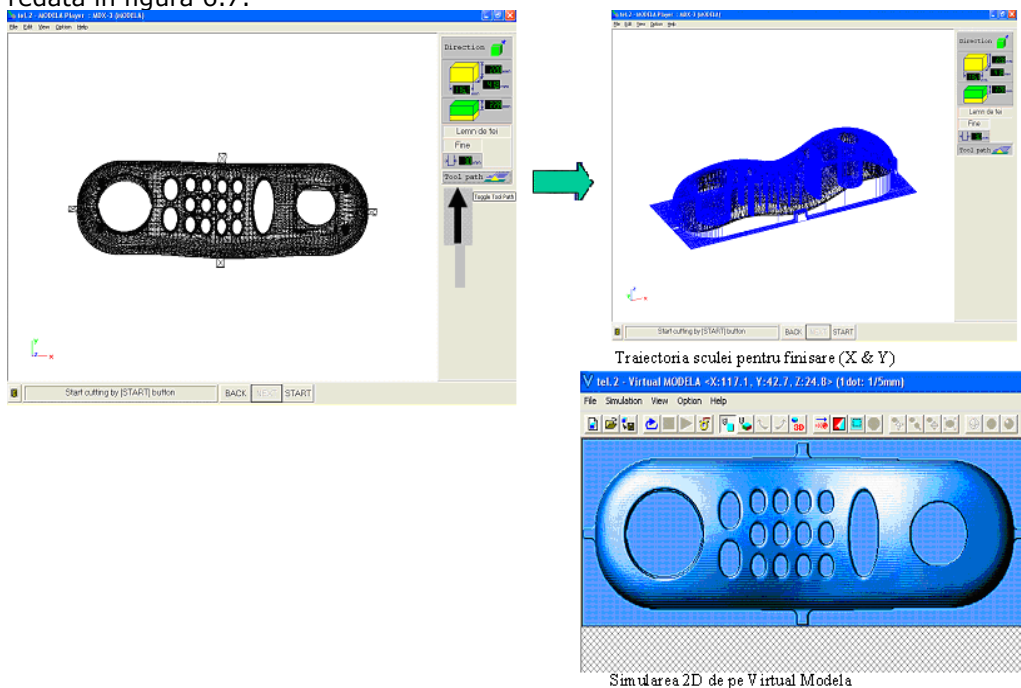


Figura 6.7. Crearea traiectoriei sculei și simularea virtuală a frezării la finisare

Găurile de centrare și fixare se fac prin intermediul funcției cursor a player-ului Modela așa cum se vede și în figura 6.8.

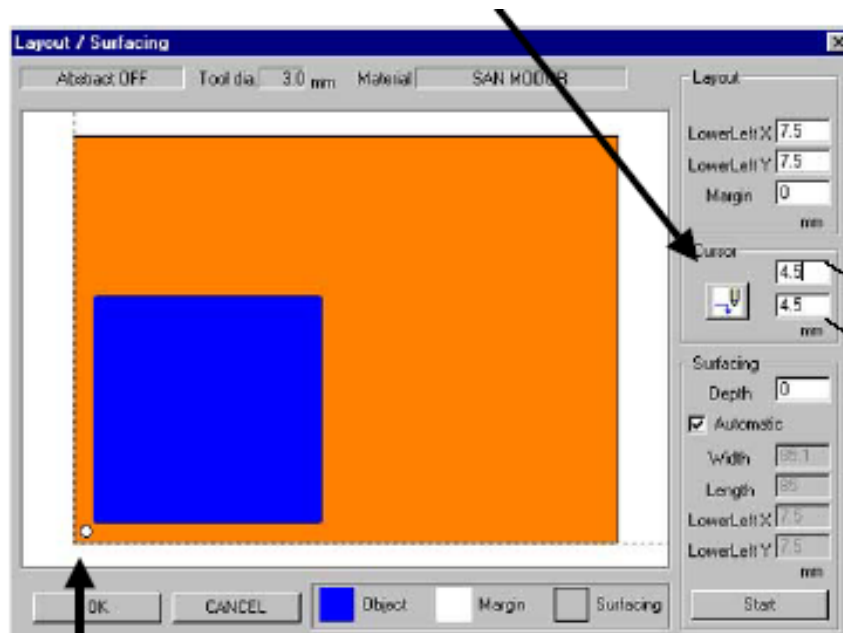


Figura 6.8. Posibilitate de executare a găurilor de centrare

Se fac 4 găuri de centrare și fixare în rama din jurul materialului, primul decide poziția găurii de prindere situată în stânga jos. Din meniu se va alege, direcția după care se va face degroșarea și direcția după care se va face finisarea.

Dacă se folosește aceeași sculă pentru degroșare și finisare, datele se pot prelucra cu succes. În acest caz se vor păstra setările pentru Modela MDX-15.

În figurile 6.9. și 6.10. este prezentat în două vederi prototipul realizat.



Figura 6.9. Piesa văzută din față



Figura 6.10. Piesa pe verso

6.2. Prototiparea prin frezarea a reperului tip „priză”

Primul pas în procedura de prototipare rapidă îl constituie poziționarea și fixarea semifabricatului pe masa mașinii. Poziționarea se face în funcție de partea pe care o dorim ca să fie prelucrată și se are în vedere cel mai important lucru și anume dimensiunile de gabarit ale acestuia, așa cum este prezentat în figura 6.11. Și în acest caz semifabricatul utilizat este din lemn de tei acesta fiind preferat unor rășini poliuretice datorită prelucrării relativ facile dar și datorită suprafețelor ferme și relativ bine definite în finalul prototipării.

După ce poziționarea s-a făcut pe masa mașini, atunci se trece la fixarea mesei în mașina de prototipat Modela MDX-15.



Figura 6.11. Alegerea ariei de scanat

După ce montarea piesei pe masa mașini, (menționăm că această montare se face când masa este detașată de mașină) forma rezultată în urma scanării este exportată în format <.dfx>, și este importată în programul Modela Player (figura 6.12).

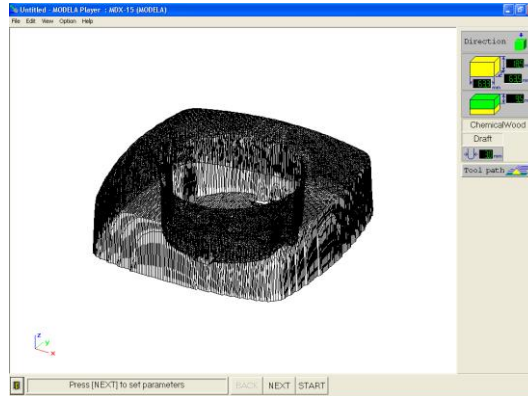


Figura 6.12. Importarea suprafeței

După ce suprafața a fost importată în Modela Player se trece la parcurgerea tuturor etapelor pentru realizarea produsului.

În prima etapă se selectează direcția pentru prelucrare a obiectului (figura 6.13.).

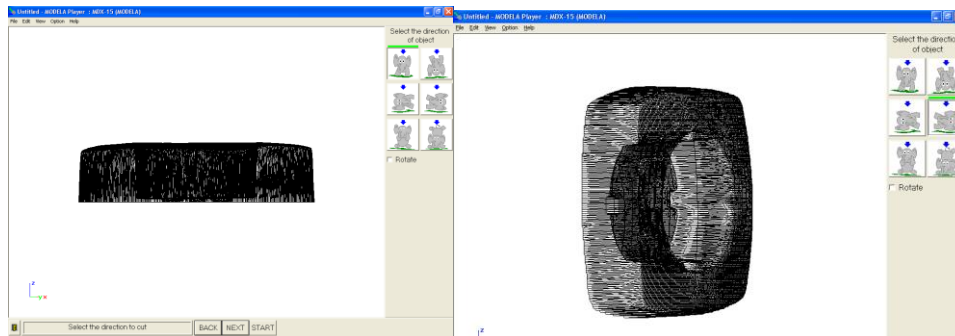


Figura 6.13. Alegerea direcție de prelucrare

Următorul pas este cel pentru alegerea dimensiunilor de gabarit și dacă e nevoie a factorului de scalare (figura 6.14.).

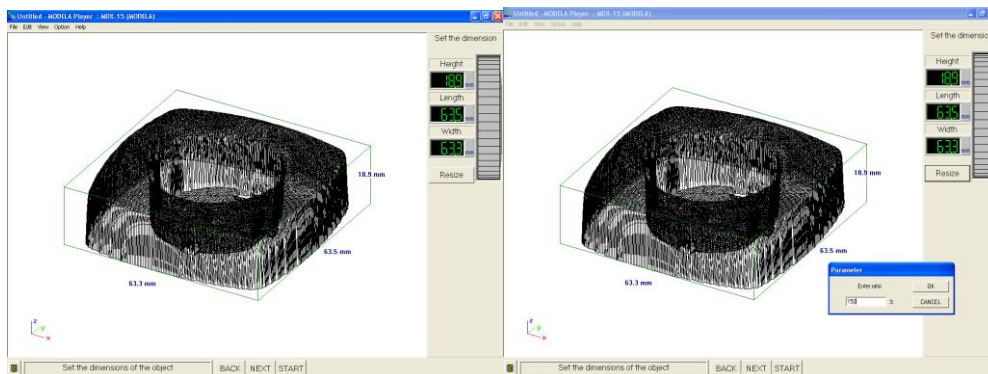


Figura 6.14. Modificarea dimensiunilor de gabarit și modificarea factorului de scalare

Cel mai importat pas este cel de setare a adâncimi de prelucrare (figura 6.15.), acest lucru impunând o atenție mai sporită deoarece o alegere necorespunzătoare duce la o prelucrare periculoasă dacă această distanță este mai mică decât lungimea activă a sculei.

Scula folosită pentru această mașină este cu diametrul cozi de $\Phi 6$ mm iar diametrul părții active este de $\Phi 3$ mm. Se pot folosi și scule cu diametre active diferite cu condiția să aibe același diametru de $\Phi 6$ mm al cozii.

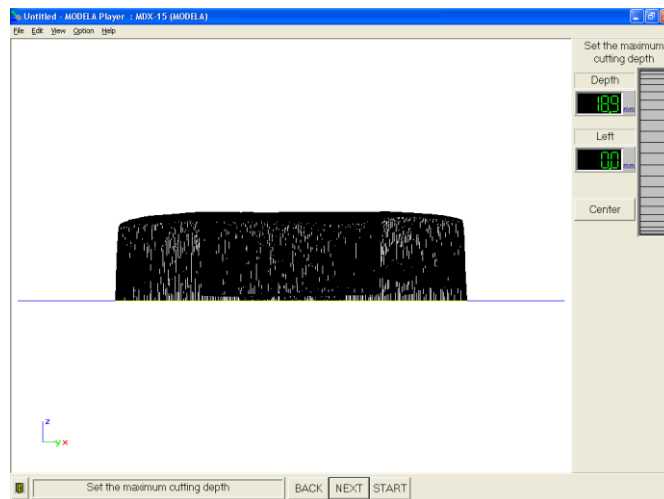


Figura 6.15. Alegerea adâncimi de prelucrare

După alegerea adâncimi de prelucrare se poate trece la alegerea sculei și a materialului (figura 6.16.), iar apoi la definirea regimului de degroșare.

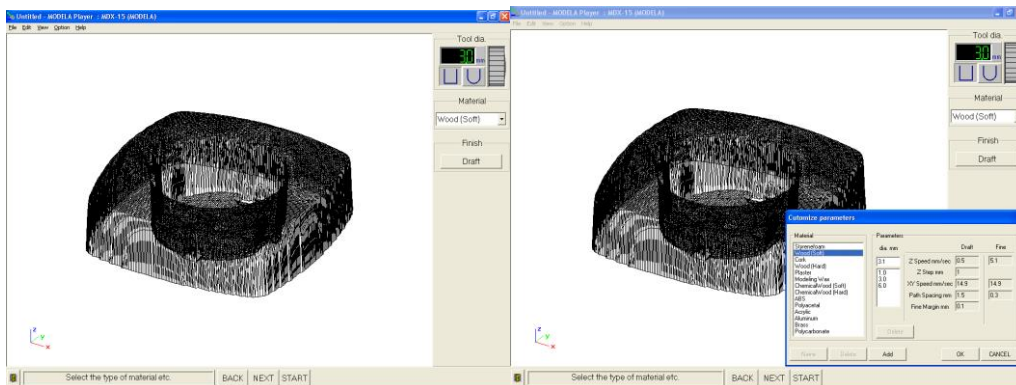


Figura 6.16. Alegerea sculei și a materialului

În această fază avem posibilitatea dacă considerăm că un parametru nu a fost ales corespunzător să se poată face digital. (figura 6.17.).

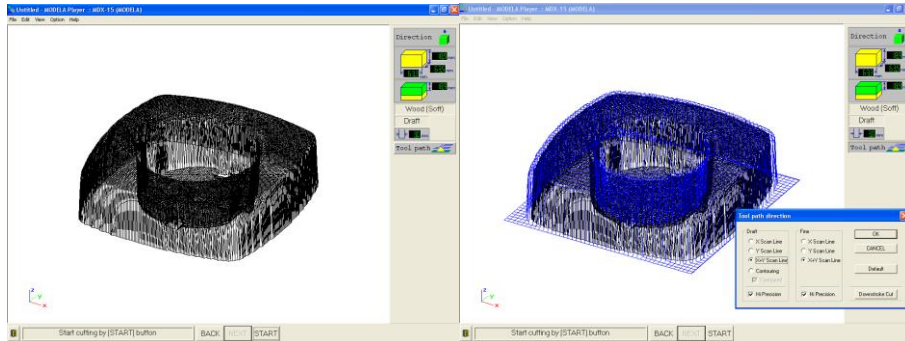


Figura 6.17. Posibilitatea de schimbare a unor anumiți parametri și generarea traiectoriei și a direcției de deplasare a sculei.

După ce toți parametri au fost verificați se trece la poziționarea corespunzătoare a ariei de prelucrare (figura 6.18. și figura 6.19. îndreptarea materialului).

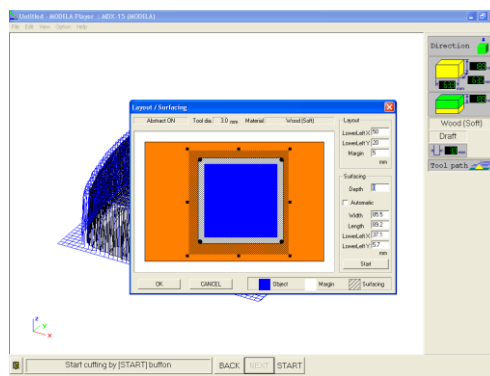


Figura 6.18. Alegerea arie de prelucrare

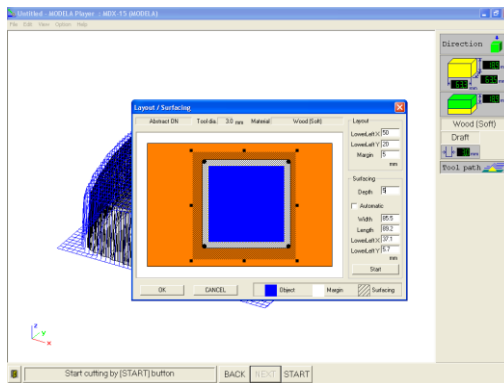


Figura 6.19. Alegerea adâncimi de netezire a materialului

După ce și aceasta etapă este trecută cu bine se trece la o simularea întregului proces de frezare și a duratei lui (figura 6.20.).

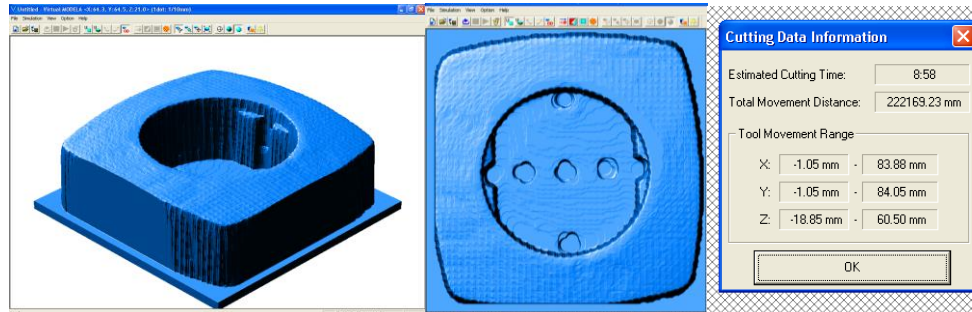


Figura 6.20. Simularea frezării prizei și informația privind durata de frezare

Cel mai important este faptul că în această simulare putem mări foarte mult anumite zone de interes și să se observe atât traiectoria sculei cât și forma rezultată (figura 6.21).

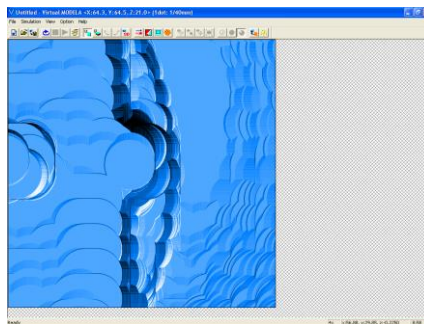


Figura 6.21. Posibilitatea de mărire a anumitor zone

Forma finală a suprafețe rezultate în urmă frezării este redată în figura 6.22, se observă că forma și dimensiunile piesei sunt influențate de dimensiunile active ale sculei cu care se face prelucrarea.



Figura 6.22. Piesa finală

6.3. Prototiparea prin frezare a reperului tip „mască”. Evaluarea comparativă

Pentru prototiparea prin frezare a reperului tip „mască” pentru care s-au identificat probleme tehnice ce impun anumite proceduri încă din faza de scanare și definire a modelului virtual s-a ales calea evaluării comparative prin prototipare pe mașina de prototipare – frezare tip ISEL, pe mașina de prototipare tip MODELA MDX 15 și pe mașina de frezat CNC „HURCO” tip uzinal.

6.3.1. Prototiparea pe mașina ISEL

După ce forma rezultată în urma procesului de scanare a fost salvată sub extensia <*.STL> aceasta este importată în softul ce deservește mașina ISEL care generează un program CNC atât pentru degroșare cât și pentru finisare. S-a observat că transmiterea directă a acestui program întâmpină unele probleme legate de necesitatea unor intervenții asupra programului generat.

În cele ce urmează se prezintă un fragment a programului și locurile în care acesta necesită intervenții.

- pentru degroșare:

```
* Turret No : 0 Diameter :6000 MM ENDMILL
N000001 IMF_PBL
N000002 FASTVEL 15000
N000003 FASTABS X0 Y0
N000004 FASTABS Z5
N000005 ;(D2349*6)
N000007 FASTABS X57263 Y17135
N000008 FASTABS Z5000
N000009 FASTABS X57263 Y17135 Z5000
N000010 MOVEABS X26086 Y35135 Z-1000
N000011 CWABS I55048 J29619 X26626 Y37455 Z-1000
N000012 CCWABS I25965 J37578 X25965 Y38250 Z-1000
N000013 MOVEABS X21900 Y38250 Z-1000
N000014 CCWABS I21900 J37350 X21000 Y37350 Z-1000
N000015 MOVEABS X21000 Y21900 Z-1000
.....
.....
.....
N009596 MOVEABS X70707 Y17408 Z-20000
N009597 FASTABS X70707 Y17408 Z5000
N009599 PROGEND
```

- pentru finisare

```
* Turret No : 0 Diameter :2000 MM BALLNOSE
N000001 IMF_PBL
N000002 FASTVEL 15000
N000003 FASTABS X0 Y0
N000004 FASTABS Z5
N000005 ;(USER DEFINED)
```



```
N000007 FASTABS X54936 Y22544
N000008 FASTABS Z5000
N000009 FASTABS X54936 Y22544 Z5000
N000010 FASTABS X54936 Y22544 Z-0200
N000011 CCWABS I50589 J25014 X53059 Y29362 Z-0200
N000012 MOVEABS X52778 Y29521 Z-0200
N000013 MOVEABS X52478 Y29721 Z-0200
N000014 MOVEABS X52261 Y29918 Z-0200
N000015 MOVEABS X52065 Y30127 Z-0200
.....
.....
.....
N061491 MOVEABS X43374 Y56032 Z-20000
N061492 CCWABS I44155 J60971 X49094 Y60190 Z-20000
N061494 PROGEND
```

Forma rezultată este reprezentată în figura 6.23. se observă clar că prin codul CNC generat rezultatele nu sunt cele așteptate. De altfel aceasta este o limită de performanță pe care constructorul mașinii a depășit-o doar la modelele ulterioare puse în fabricație.



Figura 6.23. Reperul „masca” rezultată pe mașina ISEL

În concluzie prototiparea pe mașina ISEL deși este mai rapidă și robustă nu asigură în totalitate cerințele impunându-se perfecționării de echipare și de soft.

6.3.2. Prototiparea pe mașina MODELA MDX 15

Prototiparea pe mașina MODELA MDX15 pornește de la forma modificată, o piesei scanate descrise în capitolul precedent. Ca prim pas se trece la utilizarea softului MODELA Player (figura 6.24.) cu care este echipată mașina MODELA MDX15, importând fișierul STL final ce are o mărime de doar 2,6Mb. După aceasta se trece la alegerea tuturor parametrilor de lucru (figura 6.25.) și trecerea la executarea fizică a suprafeței, și trecerea la executarea fizică a suprafeței (figura 6.27.) dar după ce se face o verificare finală virtuală (figura 6.26.) a suprafeței rezultate de a vedea dacă au fost aleși corespunzător parametrii de lucru.

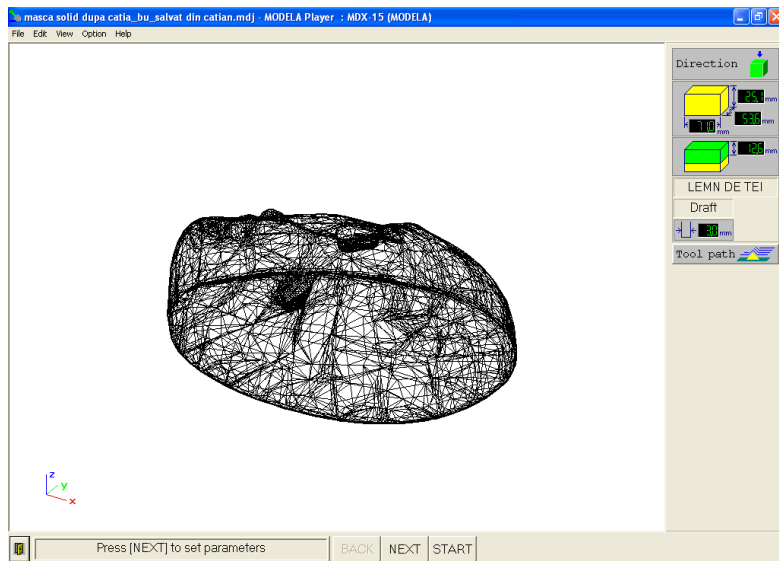


Figura 6.24. Importarea fișierului în MODELA PLAYER

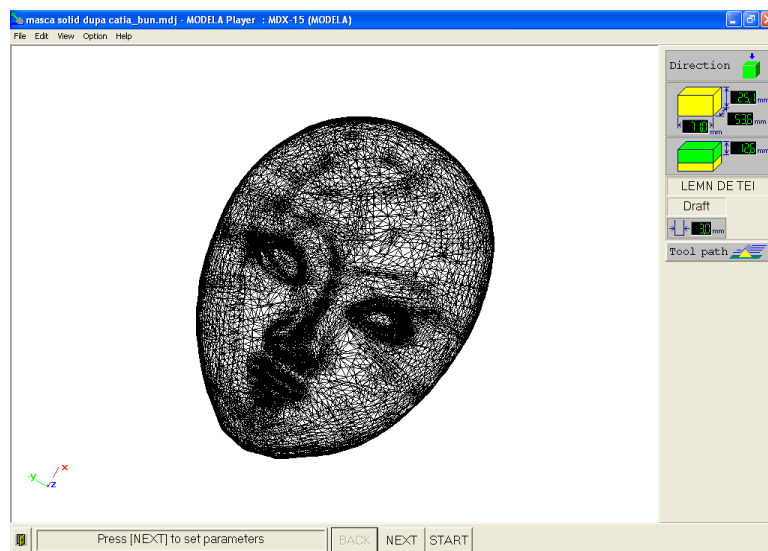


Figura 6.25. Alegerea tuturor parametrilor de lucru

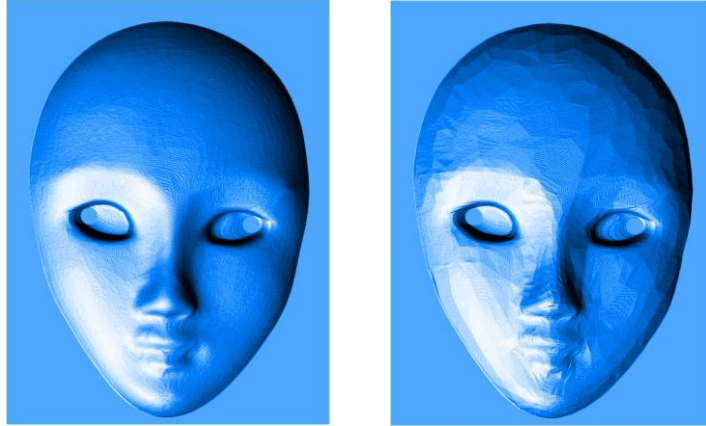


Figura 6.26. Forma rezultată în urma simulării virtuale



Figura 6.27. Forma finală realizată pentru reperul mască [DUM 008]

În figura 6.27. este prezentat rezultatul prototipării în alternativa realizării unei cavități (matriță) sau a unei proeminențe (poanson). Se remarcă acuratețea suficientă a modelului fizic necesară în etapele de concepție preliminară.

6.3.3. Prototiparea pe mașina CNC

Prototiparea pe o mașină CNC de tip uzinal trebuie privită ca o facilitate cu posibilități tehnice deosebite dar care nu este totdeauna la îndemână în fazele de concepție preliminară, iar în cazul unor utilizatori este chiar inaccesibilă. Totuși ea trebuie adusă în discuție pentru informațiile importante pe care ni le poate furniza în evaluările comparative și în căutarea mijloacelor de îmbunătățire generală a tehnicii de prototipare rapidă prin frezare.

Ca primă etapă se trece la o simulare a întregului proces de generare a programului NC.

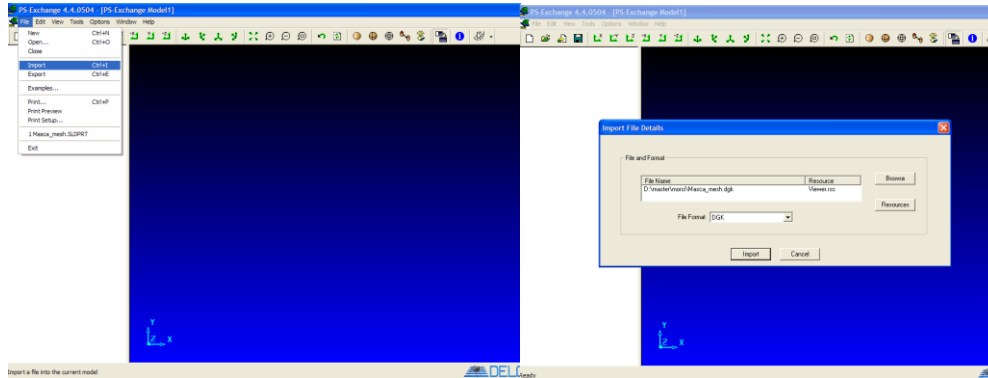


Figura 6.28. Inițierea programului CNC

Procedura de lucru începe prin deschiderea noului fișier și inițierea programului CNC (figura 6.28.)

Urmează importarea piesei și salvarea cu extensie DKG (pentru a fi fișierul compatibil cu Power Shape). În continuare are loc deschiderea piesei în Power Shape (cu setarea sistemului de coordonate, crearea suprafețelor auxiliare necesare frezării, definirea electrozilor, etc., figura 6.29.).

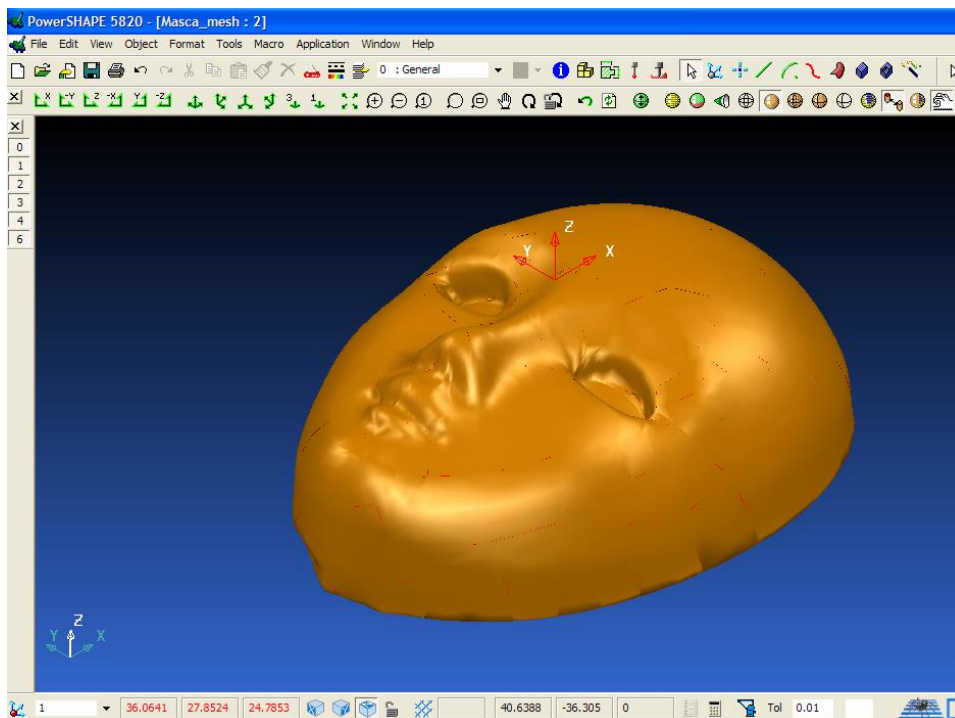


Figura 6.29. Importarea piesei în PowerShape

Urmează importarea piesei în Power Mill (figura 6.30.).

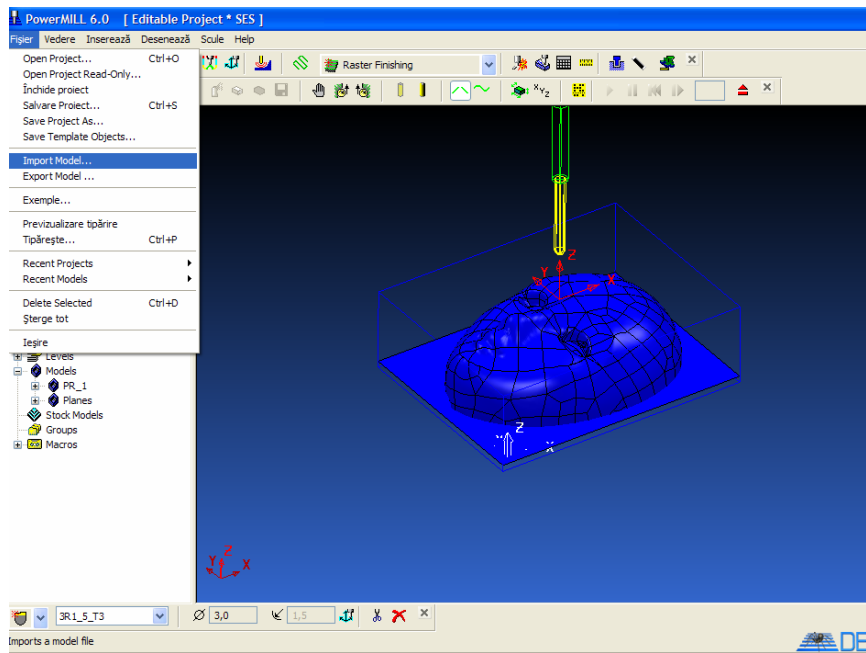


Figura 6.30. Importarea reperului în PowerMill

Sunt descrise în continuare succint fazele de lucru și rezultatele.
Se activează sistemul de coordonate

- Neactivat (scula pleacă din sistemul de coordonate absolut – figura 6.31.)

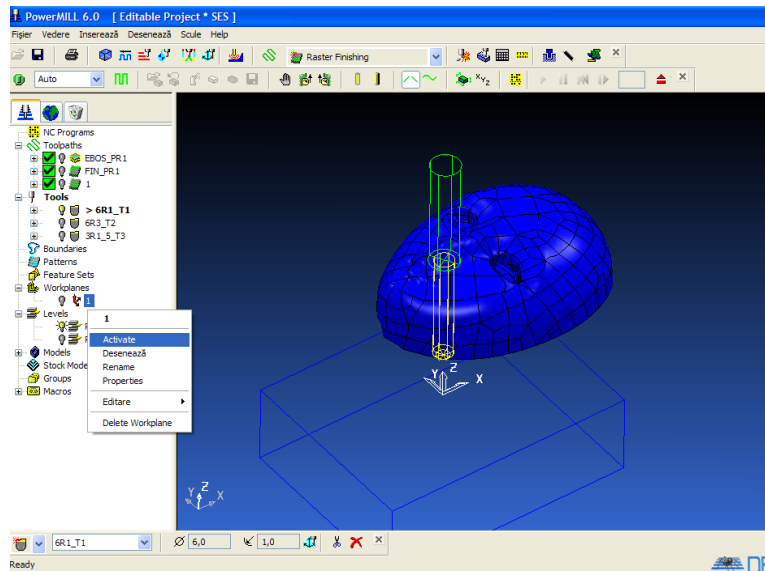


Figura 6.31. Sistem de coordonate absolut

- Activat (scula pleacă din sistemul de coordonate relativ)

Se creează blocul de semifabricat (limitele extreme ale piesei și care se offsetează cu valori dorite pe direcții dorite, figura 6.32.

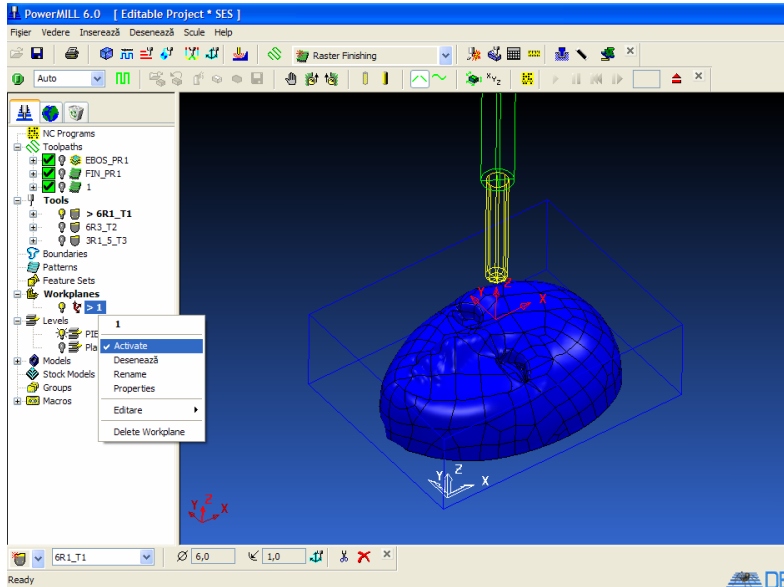


Figura 6.32. Alegerea semifabricatului virtual

Definirea regimului de degrosare

Se creează scula (Tip Radius) – (figura 6.33)

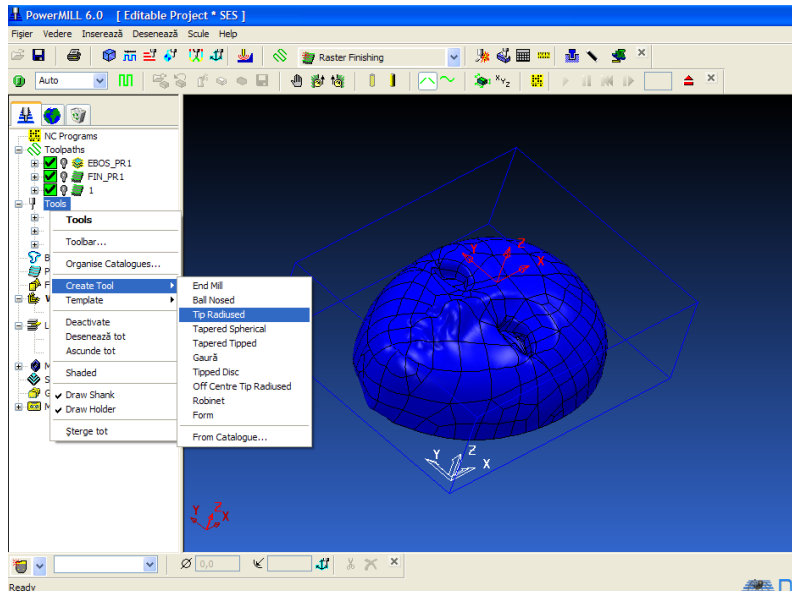


Figura 6.33. Construirea sculei (frezei)

Setarea valorilor sculei (figura 6.34.).

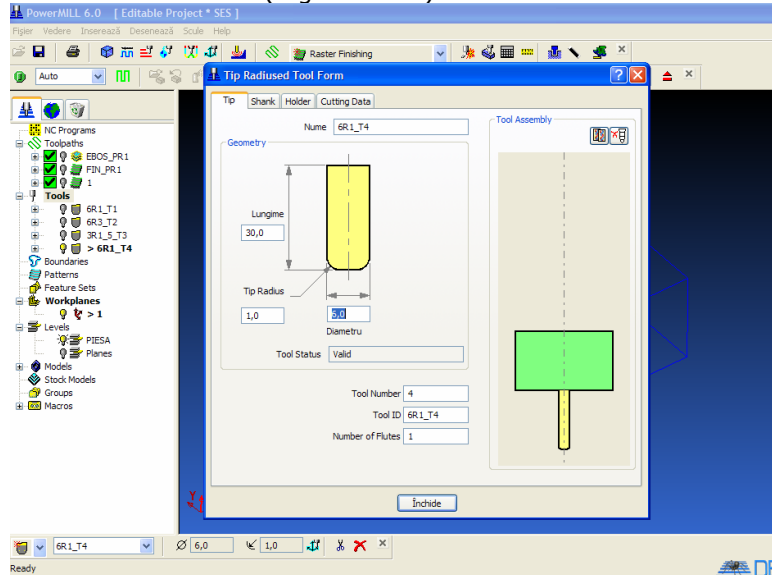


Figura 6.34. Definirea parametrilor sculei

Alegerea parametrilor de lucru (figura 6.35.):

- avansului de lucru;
- avans rapid;
- avans de intrare;
- turația.

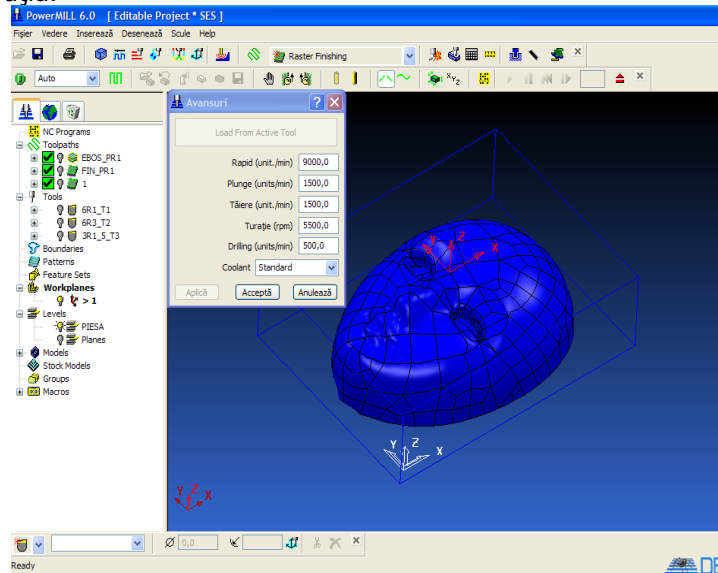


Figura 6.35. Alegerea parametrilor de lucru

Generarea urmelor generate de scula pentru degrosare (figura 6.36.)

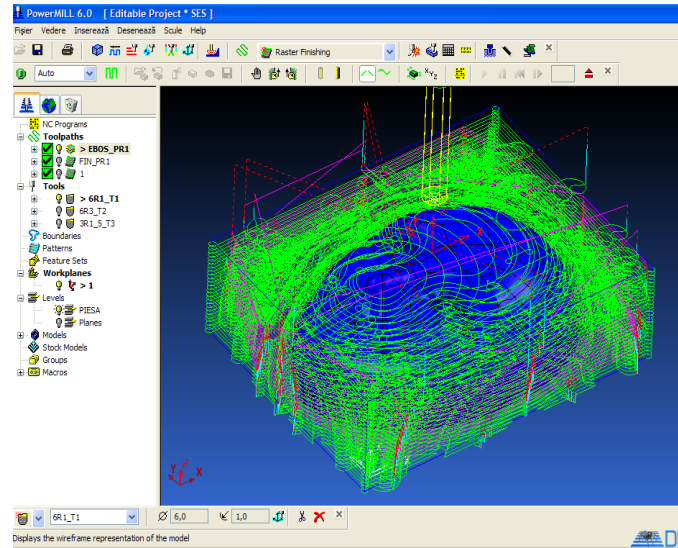


Figura 6.36. Generarea traiectoriei sculei

Piesa după degroșare (figura 6.37.).

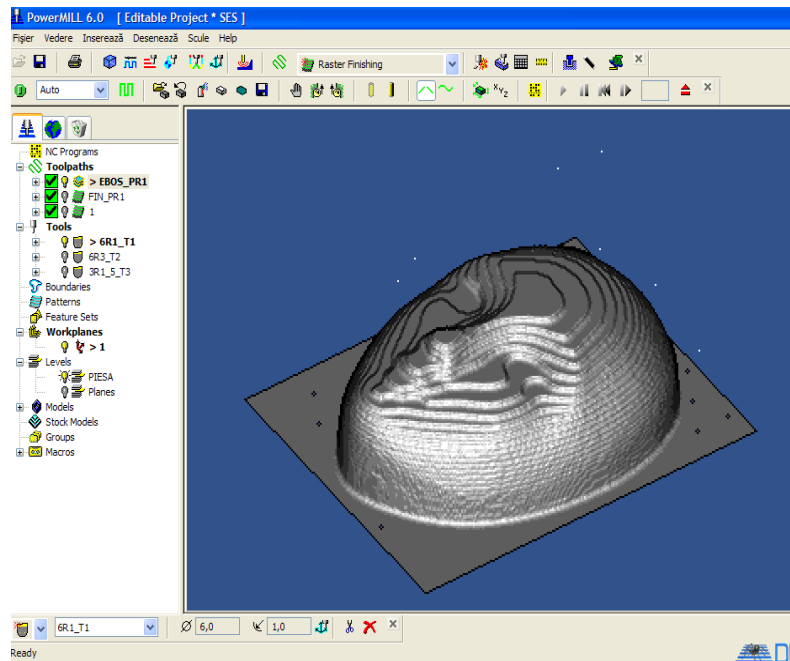


Figura 6.37. Piesa obținută în urma simulării frezării

Traectoria sculei pentru semifinisare (figura 6.38).

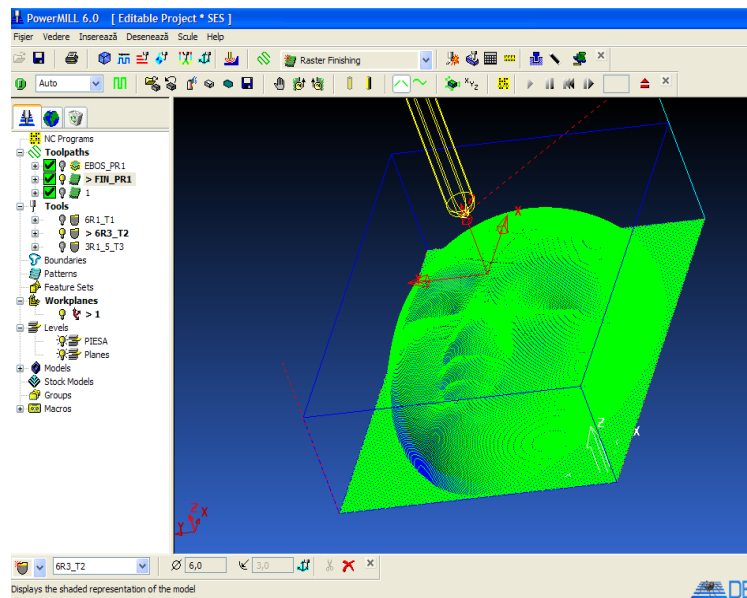


Figura 6.38. Traectoria sculei la finisare

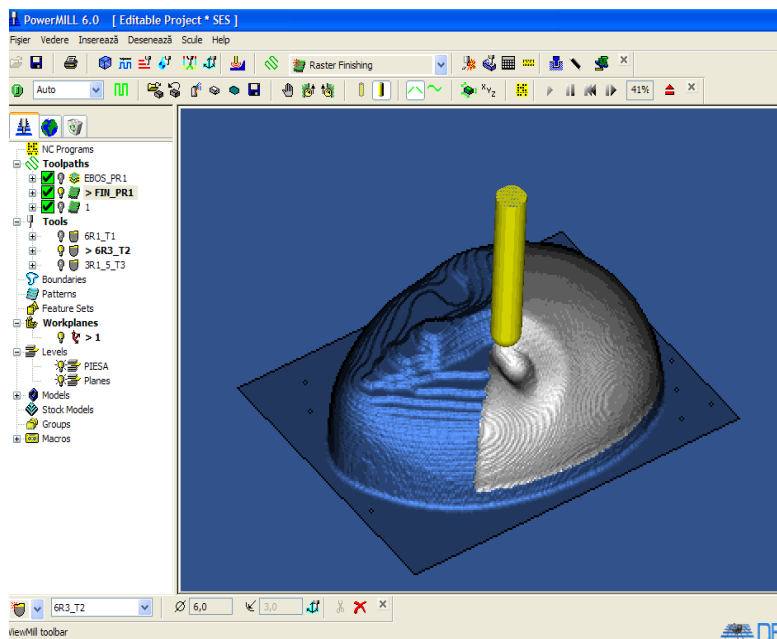


Figura 6.39. Piesa semifinisată (comparativ cu degroșarea) este bine evidențiată prin cele două culori.

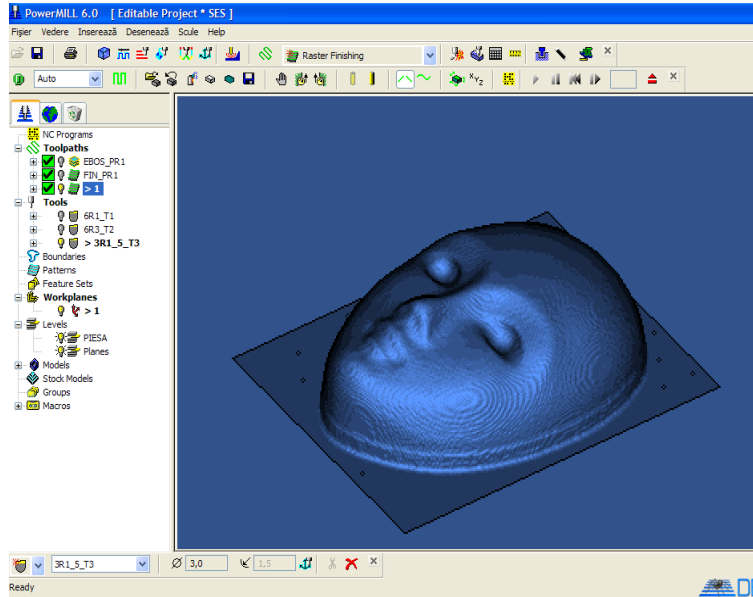


Figura 6.40. Forma rezultată în urma procesului de semifinisare

Piesa rezultată după semifinisare este prezentată în figura 6.39 și forma finală în figura 6.40.

Generarea traseului sculei pentru finisare urmat de finisarea piesei (figura 6.41.).

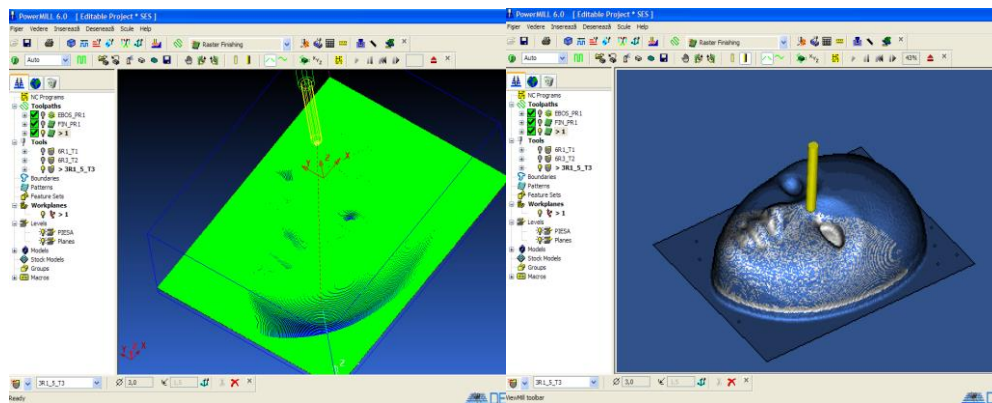


Figura 6.41. Generarea finisării și realizării ei

Ca ultim pas se trece la crearea programului CNC – figura 6.42.
Alegerea căii de generare

150 Cerce. privind reali. prin prototipare rapidă a mod. fizice și eval. acestora - 6

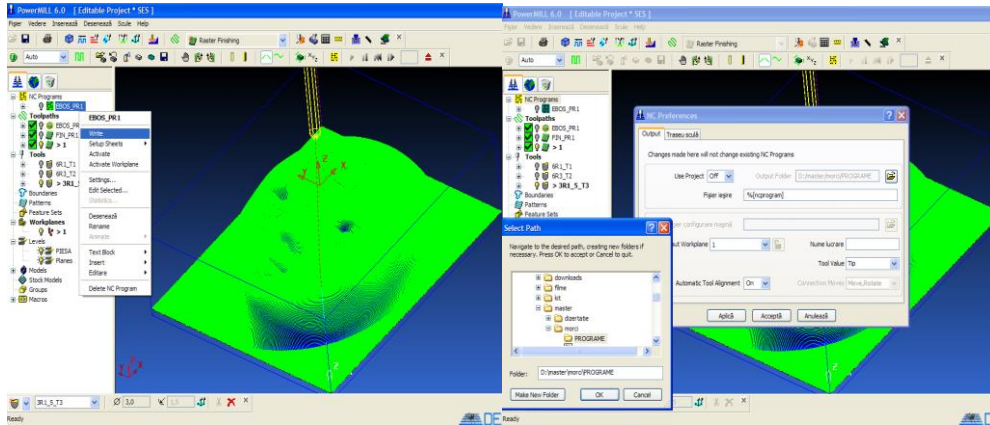


Figura 6.42. Scrierea programului de CNC

Editarea programului CNC (generarea programului).
Începutul și finalul de program este vizualizat în figura 6.43. și se trece efectiv la realizarea piesei.

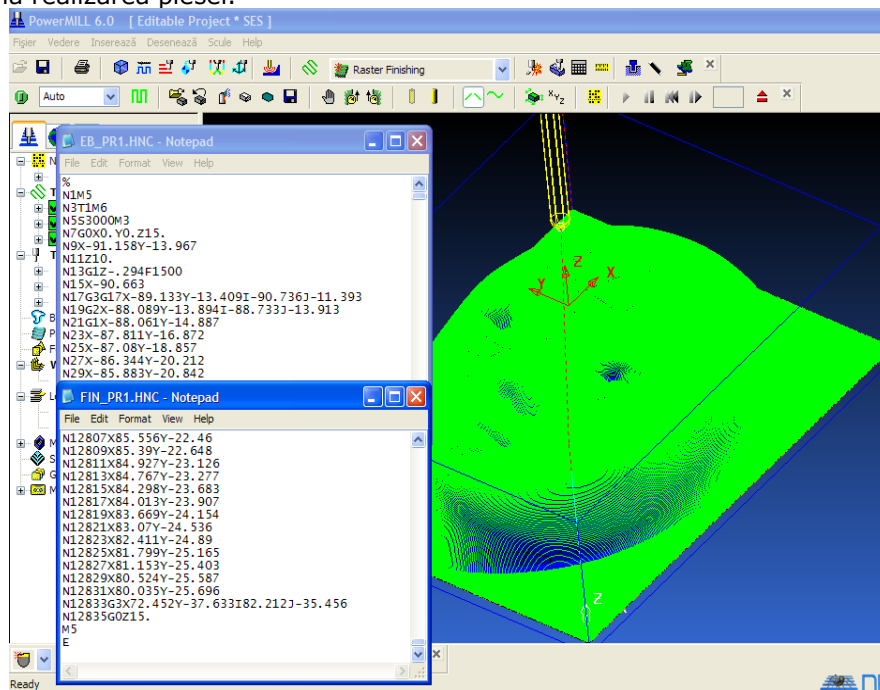


Figura 6.43. Programul de NC

Piesa realizată pe mașina de frezat CNC are avantajul de a putea fi realizată la nivele ridicate de precizie și calitate pe semifabricate din diferite materiale.

6.3.4. Controlul dimensional al pieselor executate pe cele trei tipuri de mașini unelte (ISEL, MODELA MDX 15 și MU-CNC)

Mașinile de măsurat în coordonate (MMC), considerate ca unul din cele mai moderne mijloace de control, sunt caracterizate prin *productivitate mare și precizie ridicată* a controlului, ușurând în același timp efortul depus de operator. Mașinile de măsurat în coordonate operează (ca și mașinile unelte cu comandă numerică) cu *date numerice în coordonate rectangulare* (sau *polare*). Sistemul de palpate realizează "palparea" tactilă sau optică a suprafețelor piesei, iar datele numerice furnizate de mașină arată dacă piesa respectă sau nu condițiile prescrise în desen. Capabilitatea mașinilor este sporită prin posibilitatea utilizării diferitelor tipuri de capete de măsurare, senzori și palpatoare care permit accesul la toate elementele geometrice ale piesei supusă controlului. Grație utilizării materialelor ușoare (ceramice, compozite), mașinile de măsurat în coordonate dispun de performanțe dinamice ridicate. Modelările din ce în ce mai fine a comportamentului mașinii la diferite temperaturi permit luarea în calcul a gradientilor termici, ceea ce conduce la o exigență din ce în ce mai redusă legată de asigurarea unui anumit regim termic din sala de control unde sunt amplasate.

În funcție de configurația lor, hard și soft, mașinile de măsurat în coordonate pot fi utilizate la mai multe tipuri de aplicații

- determinarea caracteristicilor geometrice ale unui obiect;
- digitizare suprafețe;
- trasare;
- frezări ușoare.

Dintre cele patru aplicații posibile, primele două au ponderea cea mai mare, iar dintre acestea două prima este cea mai răspândită.

Determinarea caracteristicilor geometrice ale unui obiect presupune verificarea stării obiectului fizic în raport cu definirea teoretică (nominală) a acestuia, exprimată cu ajutorul desenelor sau printr-un model matematic. Parametrii luați în considerare la compararea elementelor geometrice ale obiectului fizic cu descrierea nominală a acestora se referă la dimensiuni, formă, orientare și poziție.

Într-un cât prototiparea folosind mașina CNC de uz industrial tip „HURCO” s-a realizat la S.C. Elba S.A. s-a optat pentru efectuarea măsurătorilor pentru utilizarea facilităților de măsurare existente în aceeași întreprindere. Acest aspect nu deformează rezultatele întru cât mașina folosită este din aceeași clasă ca și mașina TESA 3D definită în structura platformei.

Mașina de măsurat în coordonate folosită de S.C. Elba S.A. este produsă de firma Brown & Sharpe, modelul Mistral 10.7.7 (figura 6.44.), ce are următoarele caracteristici:

- dimensiuni 1900 X 1125 X 2750 mm;
- cursa maximă 1000 X 660 X 660 mm;
- greutatea maximă a pieselor măsurate: 830 Kg;
- precizia de măsurare: $4+4.5L/1000 \mu\text{m}$;
- raport R 1:3.6 (raportul dintre incertitudinea de măsurare și câmpul de toleranță)



Figura 6.44. Mașina de măsurat în coordonate Mistral 7

Softul de măsurare: Pc-DMIS 3.5.

Unitatea de palpăre: Renishaw PH10M: (figura 6.45.)

- greutate 640g;
- numărul total de poziții 720;
- mișcarea unghiulară 7.5° pe axă A(0° - 105°), B($\pm 180^\circ$);
- poziționarea față de poziția teoretică: ± 0.3 ;
- repetarea poziției $< 0.5 \mu\text{m}$ (pentru o distanță de 62mm, la temperatură constantă).

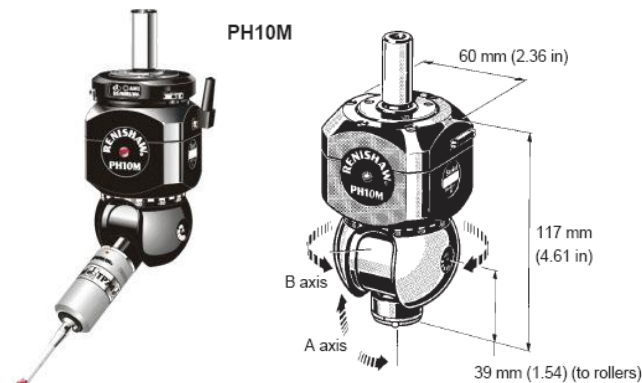


Figura 6.45. Unitatea de palpăre Renishaw PH10M [REN 00]

Având două repere tip "Mască" (Masca 1 –realizată pe MODELA MDX 15 și Masca 2 realizată pe ISEL) realizate prin frezare după modelul scanat două mașini diferite, am comparat cotele de gabarit a celor două Măști cu cotele de gabarit ale modelului CAD scanat.

Fazele pentru măsurarea pieselor "Mască" au fost următoarele:

1. Se stabilește originea reperului în raport cu care se vor determina coordonatele punctelor măsurate, ca fiind pe unul din colțurile suporturilor Măștilor (figura 6.46.) astfel:

- s-a selectat un plan, prin minim 3 puncte;
 - s-a selectat o axa, prin 2 puncte;
 - s-a selectat un punct .
- Normala planului obținut prin 3 puncte ne va da axa +Z -Z
 Axa selectată prin 2 puncte ne va da axa +X -X
 Din softul mașinii ne va rezulta axa +Y -Y

Odată având originea, se trece la selectarea punctelor care ne vor da gabaritul piesei.

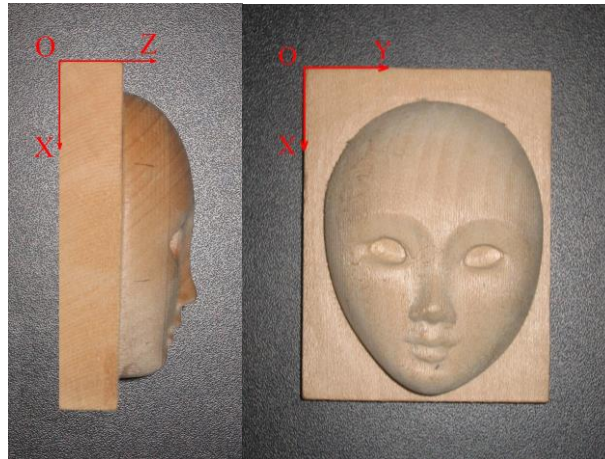


Figura 6.46. Stabilirea originii reperelor

2. Prin metoda manuală, s-a ales o serie de puncte cărora doresc să le aflu poziția în raport cu originea (Figura 6.47.).

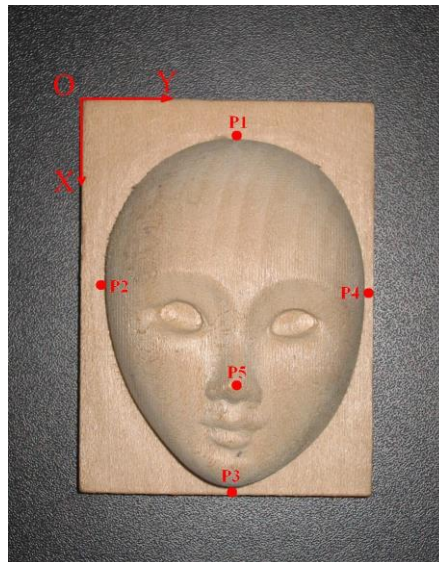


Figura 6.47. Puncte de calcul

3. S-a stabilit originea pentru Masca2, la fel ca la faza 1
4. S-a comparat Masca 1 (tabel 6.1) cu Masca 2 (tabel 6.2)
5. După finalizarea operației de măsurare s-a realizat un raport.
Datele obținute sunt înscrise în talele următoare:

PART NAME : MASCA1_ISEL
 STATS COUNT : 29.05.2008

Tabel 6.1

DIM D1= LOCATION OF POINT PUNCT1 UNITS=MM

AXA	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	8.861	0.200	-0.200	8.861	0.000	0.000 <-----
Y	31.941	0.200	-0.200	31.941	0.000	0.000 ----->
Z	2.583	0.200	-0.200	2.583	0.000	0.000 <-----

DIM D2= LOCATION OF POINT PUNCT2 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	39.016	0.200	-0.200	39.016	0.000	0.000 ----->
Y	5.626	0.200	-0.200	5.626	0.000	0.000 ----->
Z	3.285	0.200	-0.200	3.285	0.000	0.000 <-----

DIM D3= LOCATION OF POINT PUNCT3 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	79.057	0.200	-0.200	79.057	0.000	0.000 ----->
Y	30.461	0.200	-0.200	30.461	0.000	0.000 ----->
Z	10.826	0.200	-0.200	10.826	0.000	0.000 ----->

DIM D4= LOCATION OF POINT PUNCT4 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	39.443	0.200	-0.200	39.443	0.000	0.000 ----#----
Y	58.229	0.200	-0.200	58.229	0.000	0.000 <-----
Z	3.655	0.200	-0.200	3.655	0.000	0.000 <-----

DIM D5= LOCATION OF POINT PUNCT5 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	58.607	0.200	-0.200	58.607	0.000	0.000 ----#----
Y	32.057	0.200	-0.200	32.057	0.000	0.000 <-----
Z	24.792	0.200	-0.200	24.792	0.000	0.000 <-----

PART NAME : MASCA2_MODELA
 STATS COUNT : 29.05.2008

Tabel 6.2

DIM D1= LOCATION OF POINT PUNCT1 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	8.861	0.200	-0.200	5.344	-3.517	3.317 <-----
Y	31.941	0.200	-0.200	27.232	-4.709	4.509 <-----
Z	2.583	0.200	-0.200	2.595	0.012	0.000 ----->

DIM D2= LOCATION OF POINT PUNCT2 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	39.016	0.200	-0.200	34.281	-4.734	4.534 <-----
Y	5.626	0.200	-0.200	4.210	-1.416	1.216 <-----
Z	3.285	0.200	-0.200	2.604	-0.681	0.481 <-----

DIM D3= LOCATION OF POINT PUNCT3 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	79.057	0.200	-0.200	73.457	-5.600	5.400 <-----
Y	30.461	0.200	-0.200	31.020	0.559	0.359 ----->
Z	10.826	0.200	-0.200	7.706	-3.120	2.920 <-----

DIM D4= LOCATION OF POINT PUNCT4 UNITS=MM

AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	39.443	0.200	-0.200	33.781	-5.662	5.462 <-----
Y	58.229	0.200	-0.200	54.649	-3.581	3.381 <-----
Z	3.655	0.200	-0.200	3.188	-0.468	0.268 <-----

DIM D5= LOCATION OF POINT PUNCT5 UNITS=MM

AXA	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
X	58.607	0.200	-0.200	54.441	-4.166	3.966 <-----
Y	32.057	0.200	-0.200	30.784	-1.274	1.074 <-----
Z	24.792	0.200	-0.200	19.565	-5.227	5.027 <-----

Se observă că diferențele dintre Masca1 și Masca2 sunt mari, asta deoarece piesele nu sunt așezate în aceeași poziție pe suportul măștilor, având origini diferite (figura 6.48.).

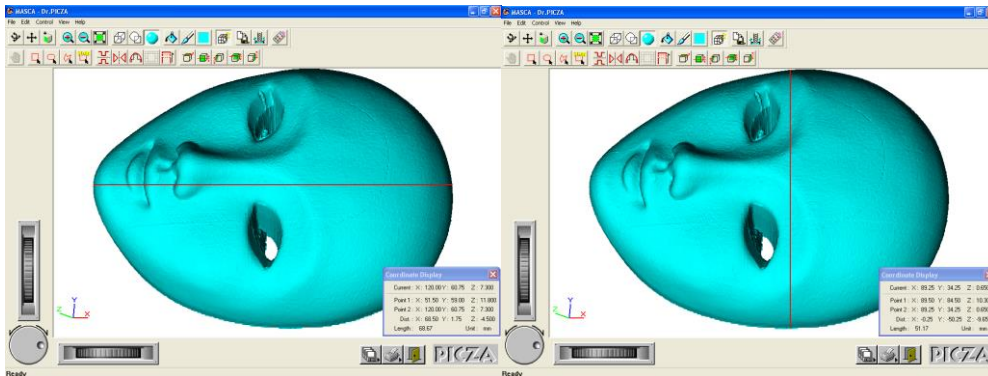


Figura.6.48. Dimensiunile de gabarit ale suprafeței rezultate

Analizând reperele cu modelul CAD obținut prin scanare, obținem erorile scanării, măsurând cotele de gabarit ale reperelor. (tabelul 6.3).

Cotele de gabarit ale reperelor și erorile scanării

Tabelul 6.3

	P1 P3 (X3-X1)	P2 P4 (Y4+Y2)
Masca 1	70.196	52.603
Masca 2	68.11	50.439
CAD	68.5	50.25



Figura 6.49. Poziționarea Masca 1 și Masca 2

Se observă că diferențele dintre Masca1 și Masca2 sunt mari, asta deoarece piesele nu sunt așezate în aceeași poziție pe suportul măștilor, având origini diferite. (figura 6.49.).

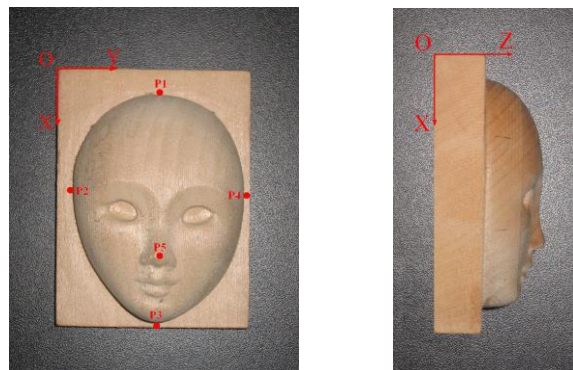


Figura 6.50. Puncte de măsurare pentru piesa prelucrată pe CNC

S-a măsurat distanța dintre punctele P_1 , P_2 , P_3 , P_4 și anume (figura 6.50):

- distanța 1: $\text{Dist. 1} = P_1 - P_3$;

- distanța 2: $\text{Dist. 2} = P_2 - P_4$;

și s-a mai măsurat și distanța de la punctul P_2 la punctul maxim pe axa Z, punctul P_5

- distanța 3: $\text{Dist. 3} = P_5 - PL_1$;

- distanța 4: $\text{Dist. 4} = P_2 - PL_1$.

Pentru evaluarea comparativă a prototipurilor efectuate, procedura constă în compararea dimensiunilor celor trei piese executate pe mașini unelte prin îndepărtare de material (MU - CNC) și pe mașini de prototipare rapidă prin îndepărtare de material (ISEL și MODELA MDX 15). Măsurătorile sau realizat pe mașina de măsurat tridimensional TESA 3D figura 6.44. Procedura constă în instalarea piesei pe masa mașinii de măsurat cu o atenție deosebită acordată piesei pentru a nu fi deteriorată, calibrarea mașini de măsurat și determinarea sistemului de referință al piesei.

În anexa 1 și anexa 2 sunt prezentate datele obținute în urma măsurătorilor și programul pentru efectuarea măsurării. Așa cum se poate observa și în tabelul 6.4. cea mai bună piesă rezultată este cea executată pe MU – CNC, acest fapt rezultând din editarea programului CNC din softul PowerMill. Așa cum se observă diferența dintre valorile modelului fizic rezultat pe CNC și cel rezultat pe MODELA este sub valoarea de **0,02 mm** pe direcția X și sub valoarea de **0,93 mm** pe direcția Y.

Valorile cotelor de gabarit pentru cele trei piese Tabel 6.4.

	MU – CNC [mm]	ISEL [mm]	MODELA MDX15 [mm]	Diferența MU – ISEL [mm]	Diferența MU – MODELA [mm]	Diferența ISEL – MODELA [mm]
Dist. 1 – X	70.1667	68.11	70.196	2,0567	- 0,0293	- 2,086
Dist. 2 – Y	51.6685	50.439	52.603	1.2295	- 0,9345	- 2,164

Valorile cotelor de gabarit pentru cele trei piese și modelul CAD Tabel 6.5.

	MU – CNC [mm]	ISEL [mm]	MODELA MDX15 [mm]	Diferența MU – CAD [mm]	Diferența ISEL-CAD [mm]	Diferența MODELA – CAD [mm]
Dist. 1 – X	70.1667	68.11	70.196	1,6667	- 0,39	+ 1,696
Dist. 2 – Y	51.6685	50.439	52.603	1,4185	+ 0,189	+ 2,353

Ca și concluzie după ce am realizat seturile de măsurători se poate spune că cea mai precisă mașină de frezat în comparație cu modelul CAD obținut în urma procesului de scanare este mașina ISEL, având abaterea de - 0,39 mm pe direcția X și +0,189 pe direcția Y (tabelul 6.5). Sigur dezavantaj al acestei mașini îl reprezintă faptul că pe mașina ISEL nu se poate face piese de dimensiuni foarte mari. Dacă avem nevoie și ne permite toleranța rezultată din măsurători atunci se pretează o prelucrare și pe mașina MODELA respectiv CNC.

Un mare neajuns s-a întâmpinat la utilizarea materialelor, deoarece cele trei tipuri de mașini pe care s-a executat piesa prezintă limitări după cum urmează:

- pe mașina MODELA MDX 15 s-a putut prelucra numai materiale moi (ceară, rășini și lemn de esență moale, TEI);
- pe mașina ISEL prelucrabilitatea se poate face ajungându-se până la prelucrarea maxim a aluminiului, acest lucru făcându-se la solicitări mari din punct de vedere al capacității de lucru al mașinii;
- pe mașinile CNC nu există nici o restricție din punct de vedere al materialului pentru prelucrat.

Din punct de vedere a timpului destinat prelucrării pe cele trei tipuri de mașini s-a constatat următoarele în:

- pe mașina CNC, timpul este cel mai scurt datorită faptului că o mașină CNC are posibilitatea de a lucra cu regimuri de aşchiere mari și de a utiliza magazii de scule cu un număr considerabil de scule necesare prelucrării;

- pe mașina ISEL, timpul necesar efectuării prelucrării este relativ redus datorită faptului că mașina poate să folosească un număr de două scule pentru operația de degroșare și respectiv cea de finisare;

- pe mașina MODELA MDX 15 timpul este foarte mare, acest aspect se datorează faptului că mașina utilizează numai o singură sculă atât la degroșare cât și pentru finisare, mai mult de atât diametrul sculei este și el de dimensiuni reduse

Din punct de vedere al costului platformei utilizate pentru acest studiu s-a ajuns la concluzia că aceasta este influențată în ce mai mare parte de costul utilajelor, a sculelor și mai ales a softurilor ce deservește aceste echipamente. Din acest considerent utilizarea mașini MODELA este eficientă din punct de vedere al performanțelor.

Platforma care are în componența MU cu CNC ajunge la un preț ce poate depăși ușor pragul de 80.000 Euro, mașina ISEL cu toate dotările se încadrează între CNC și MODELA la circa 16.000 Euro, iar o mașină MODELA MDX 15 este cea mai ieftină și ajunge la un preț de 3000 \$. Costurile echipamentului este influențat în cele din urmă și de necesitatea utilizării de softuri adecvate pentru mașina unealtă, din acest punct de vedere cel mai scăzut preț îl are tot mașina MODELA MDX 15. Prețul de achiziție a sculelor necesare prelucrării este direct proporțional cu mașina unealtă care deservește aceste scule.

S-a constatat că pentru a utiliza o platforma pentru cercetare se pretează cel mai bine mașina MODELA MDX 15 și acest fapt se datorează nu numai prețului de achiziție mic dar și versalității și gabaritului mic oferind posibilitatea de a putea fi amplasată și utilizată chiar și în birourile proiectare.

Ca și o concluzie la cele enumerate mai sus, a celor 4 parametri (**cost platformă** incluzând mașina unealtă-soft-scule, **materiale utilizate**, **timpul de prelucrare** efectiv pe cele trei mașini unelte și **precizia** din punct de vedere **dimensional** al piesei obținut în urma procesului de măsurare) s-a dovedit că pentru prototipuri se pretează mașina MODELA MDX 15, iar pentru serie mică și mare mașini cu CNC.

7. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

7.1. Concluzii

Tehnica prototipării rapide prin înlăturare de material (SRP - Subtractive Rapid Prototyping) și în mod special varianta bazată pe procedeul clasic de frezare este o alternativă în opțiunea cercetătorilor sau specialiștilor din industrie atât fie pentru dezvoltarea de noi produse fie pentru obținerea unor poziții solide pe o piață puternic comercializată. Studiul realizărilor obținute pe plan mondial și al tendințelor actuale în cercetare și obținerea tehnicilor de prototipare rapidă evidențiază o focalizare a atenției, eforturilor și resurselor către tehnicile bazate pe depunere de material. Acestea din urmă au cunoscut rapide și multiple perfecționări deschizând calea spre rapid tooling respectiv rapid manufacturing.

În majoritatea cazurilor dezvoltările și perfecționările amintite s-au realizat în puternice centre de cercetare fie din institute specializate, universități de elită respectiv câteva unități industriale dezvoltate și cu potențial. Marea majoritate a producătorilor și în special întreprinderile mici și mijlocii, respectiv cercetători individuali sau echipe cu resurse mai limitate rămân într-o dependență relativă față de primii datorită „imaturității” relative a unor tehnici și mai ales a costurilor ridicate de echipare și chiar utilizare. În aceste condiții pentru mulți din cei interesați de tehnicile de prototipare rapidă alternativa folosirii tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare, care sunt suficient de performante, versatile și mult mai accesibile ca și costuri de echipare și exploatare rămâne o opțiune care le permite să-și rezolve convenabil propriile nevoi de perfecționare în dezvoltare, dar să și creeze prin contribuții creative proprii raționalizări și optimizări a procedurilor sau chiar ușoare avantaje concurențiale.

Analizele și sintezele efectuate în capitolele 1 și 2 ale tezei au permis evidențierea aspectelor descrise mai sus și au constituit elementele de fundamentare în fixarea obiectivelor tezei.

Obiectivul principal al cercetărilor din teză fiind axat pe studiul îmbunătățirii tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare s-au definit căile prin care în mod concret și programat, acesta poate fi atins. Astfel s-a definit în strategia de studiu și cercetare bazată pe:

- Realizarea unei platforme operaționale suficient de reprezentativă, completă și performantă pentru a putea efectua experimente reprezentative și a permite evaluări cu grad ridicat de generalizare. O condiție preliminară majoră a constat în respectarea criteriului costurilor minime angajate pentru echipare, exploatare și mentenanță;
- Realizarea unui set reprezentativ de încercări experimentale care să permită evidențierea limitelor;
- Evaluarea testelor experimentale și definirea unor proceduri care să permită îmbunătățirea tehnici de prototipare, dar și identificarea unor probleme sau direcții de dezvoltare sau cercetare.

Trebuie remarcat faptul că în ciuda coerenței ideilor prezentate mai sus, atât la nivelul platformei operațională cât și la nivelul studiilor de caz realizate am fost nevoiți să acceptăm un anumit grad de eterogenitate ce poate influența sau diminua exactitudinea unor interpretări sau concluzii. Acest neajuns a trebuit asumat pentru a încadra cercetarea într-un timp rezonabil și într-un cadru de folosire a resurselor materiale acceptabil. Există riscul realizării unor platforme operaționale dedicate, dar care exclud versatilitatea de utilizare și nivelele de costuri de operare rezonabil acceptate de un anumit segment de operatori cu resurse mai limitate.

7.2. Contribuții personale

Rezultatele studiilor teoretice și experimentale efectuate în cadrul tezei au permis stabilirea următoarelor contribuții personale:

1. Realizarea unui studiu de analiză a tehnicilor de prototipare rapidă în ansamblul lor și încadrarea în acest context a tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare cu performanțele și limitele acestora și cu o viziune personală privind oportunitatea alegerii acestora pe baza unei evaluări a performanței tehnice, versatilității de utilizare și costuri de achiziție și exploatare;
2. Definirea unei platforme operaționale suficient de reprezentativă și performantă dar rezonabil accesibilă constituită din următoarele elemente:
 - Mașina de scanat / prototipat modele pentru concepția preliminară (Mașina MODELA MDX 15);
 - Mașină de prototipare modele de studiu și funcționale (Mașina 2,5D tip ISEL);
 - Mașină CNC pentru modele funcționale (Mașină tip HURCO);
 - Softuri de aplicație (Dr. Picza, Modela Virtual, Power Mill, Solid Works 2008, Catia);
 - Mașină de măsurare tridimensională pentru evaluări (Mașina TESA 3D și mașina Mistral)
3. Realizarea unui studiu privind procedurile de scanare și generare a modelului virtual în special pentru piesele cu suprafețe complexe:
 - Pentru piese definite prin documentație, dar cu probleme de fabricare și procese de injectare (suprafețe „umbrite” sau „semiumbrite”) s-a identificat o metodă de rescanare folosind combinarea facilităților oferite de softurile SOLID WORKS și CATIA;
 - Pentru piesele de tip „free-form” cu suprafețe complexe extinse pe arii mai mari decât cele curent operabile la scanare pe mașini din gama MODELA s-a identificat o procedură de descompunere și recompunere pentru realizarea modelului virtual folosind în combinație softurile AutoCad și Solid Works. Pentru acest gen de piese s-a prezentat și o schemă de studiu a rezistenței la solicitări specifice („proteza dentară”) folosindu-se facilitățile softului pentru elemente finite Solid Works;
 - Pentru piesele cu suprafețe complexe susceptibile realizării prin injectare în matriță și pentru care se pot genera modele virtuale ale cavității respective poansonului ce definesc cuiburile matriței, s-au identificat proceduri originale și un algoritm de cercetare a imperfecțiunilor de digitizare folosindu-se în combinație softurile: Dr. Picza, Solid Works 2007 și Catia. Acest algoritm permite corectările „golurilor” evidențiate în formarea mesh-ului modelului virtual prin treceri

succesive în diferitele formate ale softurilor utilizate și obținerea unui model virtual necesar unei prototipări reușite.

4. Realizarea unui studiu comparativ și evaluarea prototipării rapide prin frezare a unor piese reprezentative cu utilizarea în matrițarea prin injectare;

- Pentru o piesă reprezentativă realizări prin injectare în matriță (piesa tip „mască”) prototiparea modelului fizic folosind cele 3 variante oferite de platforma operațională, s-au făcut evaluări ale preciziei de prototipare, durată și versatilitatea procedurii respectiv, costuri. Această evaluare permite decizii operaționale care subliniază soluțiile de îmbunătățire a tehnicilor de prototipare rapidă prin frezare.
- Studiul comparativ evidențiază avantajele unui anumit mod de lucru cu o anumită alcătuire a sistemului de operare. Aceste avantaje sunt corect evidențiable doar cu raportare la cazuri concrete de prototipare.

7.3. Direcții viitoare de cercetare

În raport cu obiectivul cercetării, lucrările și studiile efectuate au pus în evidență cel puțin 2 direcții de cercetare pentru viitor:

- Studiul corelației ce poate exista în definirea performanțelor la prototiparea modelului real. Cu seturi de scule adecvate, inclusiv în final cu o sculă de dimensiuni active apropiată palpatorului utilizat în faza de scanare (digitizare) a produsului. Evaluarea diferențelor existente. Îmbunătățirea echipărilor specifice (dispozitive de fixare, orientare, translatare, etc.) existente în dotarea standard a mașinilor de prototipare;
- Îmbunătățirea privind integrarea programelor tip CAD cu cele care generează fișiere STL și o raționalizare a dimensiunii fișierelor utilizate.

BIBLIOGRAFIE

- [3DS 07] <http://www.3dsystems.com/>
- [AAR 07] AAROFLEX, Inc., <http://www.aaroflex.com/>
- [ARC 06] ARCAM EBM S400: CAD-TO-METAL® TECHNOLOGY PRODUCES PARTS IN SOLID METAL, [http://www.stratasys.com/uploadedFiles/North_America/Products/Arcam/EBM % 20S400%20specFIN.pdf](http://www.stratasys.com/uploadedFiles/North_America/Products/Arcam/EBM%20S400%20specFIN.pdf)
- [ARC 08] <http://www.arcam.com/index.asp>
- [BAR 06] Claudiu Bârlogeanu, SolidWorks98 - Modelare solidă pentru fiecare inginer, <http://www.cadreport.ro/cadrep98.04/043.htm>, 2006
- [BAS 07] Elena Bassoli, Andrea Gatto, Luca Iuliano, Maria Grazia Violante, 3D printing technique applied to rapid casting The current issue and full text archive of this journal is available at www.emeraldinsight.com/1355-2546.htm 2007
- [BOW 07] Adrian Bowyer: The Self-replicating Rapid Prototyper – Manufacturing for the Masses, Invited Keynote Address, *Proc. 8th National Conference on Rapid Design, Prototyping & Manufacturing*, Centre for Rapid Design and Manufacture, High Wycombe, June 2007. Rapid Prototyping and Manufacturing Association, ISBN-13: 978-0948314537 (2007)
- [BER 00] Berce Petru, Bâlc Nicolae, etc., Fabricarea rapidă a prototipurilor, Editura Tehnică, București, 2000, ISBN 973-31-1503-7
- [BUS 08] <http://www.businesswire.com>
- [CET 08] <http://www.cetl.org/Resources/Graphics/RapidPrototypingGallery/z310.jpg>
- [CHU 08] Wang, Chung-Shing; Chang, Teng-Ruey, Re-triangulation in STL meshes for rapid prototyping and manufacture, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume 37, Numbers 7-8, June 2008 , pp. 770-781(12)
- [DES 08] <http://www.desktopfactory.com/>
- [DEV 08] <http://www.devicelink.com/emdm/archive/99/09/produp.html>
- [DUM 06] **Adrian-Ilie DUME**, Cristian COSMA, Daniel STAN, Tudor ICLANZAN (2006), *The study of the rapid prototyping technique on the „MODELA MDX 15” Machine*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 4, No. 3/2006, ISSN 1583-7904, pp. 32-39
- [DUM 006] **Adrian-Ilie DUME**, Daniel STAN, Cristian COSMA, Nicolae FAUR (2006)., *The contact scanning application for dental prothesis*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 4, No. 1/2006, ISSN 1583-7904, pp. 29-36
- [DUM 07] **Adrian-Ilie DUME**, Cristian COSMA, Daniel STAN, Tudor ICLANZAN (2007)., *The machine Modela MDX15 integrations in manufacturing proceeding and rapid prototyping*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 5, No. 4/2007, ISSN 1583-7904, pp. 34-39
- [DUM 08] **Adrian-Ilie DUME**, Cristian COSMA, Daniel ROTAR, Tudor ICLANZAN, (2008), *Algorithm for obtaining a piece on cnc with a surface scanned by the MODELA MDX 15*, Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timișoara, Tom 53 (67), Fascicola 2, 2008, ISSN 1224-6077, pp.93 – pp.99.
- [DUM 008] **Adrian-Ilie DUME**, Cristian COSMA, Daniel STAN, Aurel TULCAN, Tudor ICLANZAN, (2008) *Methodology of obtaining a solid model for injected part using the reverse engineering technique*, Academic Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 6, No. 4/2008, ISSN 1583-7904.
- [EMC 08] <http://www.emco.co.uk/z410.htm>

- [ENV 08] <http://www.envisiontec.de/>
- [EOS 08] EOS GmbH - Electro Optical Systems, <http://www.eos.info>
- [ESP 08] <http://www.espimetals.com/tech/inconel625.pdf>
- [HOM 06] <http://home.att.net/~castleisland/sls.htm>
- [HOM 07] http://home.att.net/~castleisland/ind_21.htm
- [HOM 08] <http://home.att.net/~castleisland/3dprint.htm>
- [IKP 06] <http://www.ikp.uni-stuttgart.de/index.html>, Stuttgart, Germany
- [INC 08] <http://www.inconel625.com/>
- [INI 08] http://www.inition.co.uk/inition/product.php?URL_=product_rapid_3dsystems_invision_ld&SubCatID_=0
- [INT 07] <http://intl.stratasys.com/>
- [IPT 07] <http://www.ipt.fraunhofer.de/EN/>
- [ISE 07] Available at: <http://www.iselautomation.de/products/product.php?lang=en&ID=p90>
- [JUL 01] Julia A McDonald, Chris J Ryall, David I Wimpenny, Rapid Prototyping Casebook ISBN10: 1860580769 ISBN13: 9781860580765 06/01/2001
- [KAI 98] CHUA CHEE-KAI, LEONG KAH-FAI - Rapid prototyping and manufacturing: the essential link between design and manufacturing, Integrated Product and Process Development, Edited by John Usher, Utpal Roy, and Hamid Parsaei, ISBN 0-471-15597-7, 1998 John Wiley & Sons, Inc.
- [KIR 07] <http://www.kiraamerica.com/>
- [MAS 06] Massimiliano Ruffo, Chris Tuck and Richard Hague, Make or buy analysis for rapid manufacturing, Wolfson School, Loughborough University, Loughborough, UK, The current issue and full text archive of this journal is available at www.emeraldinsight.com/1355-2546.htm, 2006
- [MAT 08] <http://www.materialise.com/materialise/view/en/65854>
- [MCP 08] <http://www.mcp-group.com/>
- [MOD 07] Available at: <http://www.spline.nl/machines/mdx15-20.html>
- [NAG 03] M. Szilvasi-Nagy, Gy. Matyasi "Analysis of STL files", Mathematical and Computer Modelling, Pergamon, n.36, 2003, pp 945-960
- [NLR 07] The National Aerospace Laboratory NLR Integrated CAE/CAD/CAM System, <http://www.nlr.nl/documents/flyers/f139-02.pdf>, 2007
- [NOR 01] ANDREW NORTON - Rapid Product Development and Late Customisation for Manufacturing SMEs, Published in 2001 by PRIME Faraday Partnership Wolfson School of Mechanical and Manufacturing Engineering Loughborough University, Loughborough, Leics LE11 3TU, ISBN 1-84402-015-0
- [OPT 06] <http://www.optomec.com/>
- [PRI 96] Friedrich B. Prinz (Panel Chair), Clinton L. Atwood, etc., Rapid Prototyping in Europe and Japan, VOLUME II. SITE REPORTS, 1996
- [PTI 08] http://www.ptiprototype.com/thermojet_modeler%20description.htm
- [RAV 99] B. Ravi, "Rapid Design and Manufacture of Tooling for Metal Casting," *Conference on Pattern and Die Manufacturing Technology*, Arkey Conference Cell, Pune, October 1999.
- [RAV 99A] B. Ravi, "Computer-Aided Casting - Past, Present and Future," *Indian Foundry Journal*, 45(1), 1999, 65-74
- [RAV 00] B. Ravi, CAD/CAM Revolution for Small and Medium Foundries, *48th Indian Foundry Congress, Coimbatore, February 11-13, 2000*.
- [RED 06] T. A. JANARDHAN REDDY Y. RAVI KUMAR C.S.P. RAO- Determination of optimum process parameters using taguchi's approach to improve the quality of sls parts, Proceedings of the 17 th IASTED International Conference MODELLING AND SIMULATION, May 24-26, 2006, Montreal, QC, Canada

- [REE 02] REES H. – Mold Engineering, Second Edition, Hanser Publishers, Munich, 2002
- [REN 00] Renishaw-H-2000-3120.pdf, www.renishaw.com
- [RPS 08] <http://www.rpsupport.com/images/sla7000c.jpg>
- [RYD 02] RYDER, GERARD, BILL ION, GRAHAM GREEN, DAVID HARRISON, BRUCE WOOD - Rapid Design and Manufacture Tools in Architecture, Automation in Construction 11 (2002): 279-290
- [SCH 91] <http://www.schneider-prototyping.de/index.php?id=englisch>
- [SEL 07] Ed Sells, Zach Smith, Sebastien Bailard, and Adrian Bowyer: RepRap: The Replicating Rapid Prototyper - Maximizing Customizability by Breeding the Means of Production. Extended abstract in Proc. Mass Customization and Personalization Conference, MIT, October 2007.
- [SEL 08] <http://www.selecteng.com/lamin.htm>
- [SHO 06] <http://www.shonan.com.sg/product.htm#sls>
- [SIN 07] Sinterstation® Pro DM100/DM250 SLM Systems, http://www.3dsystems.com/products/datafiles/sinterstation_pro_slm/DS-Sinterstation_Pro_DM250_DM_100_SLM_Systems_0408web.pdf
- [SIN 08] <http://www.sintermask.com/>
- [SOL 08] <http://www.solid-scape.com/t66.html>
- [STI 01] STIER K., BROWN R - Integrating Rapid Prototyping Technology into the Curriculum, Journal of Industrial Technology, Volume 17, Number 1, November 2000 to January 2001
- [SUS 99] B. Susila, K.K. Karthik and P. Radhakrishnan, "Rapid Tooling for Casting – A Study on the Applications of Rapid Prototyping Process," *Indian Foundry Journal*, Vol.45, No.11, 1999, pp. TP 213-220.
- [TEI 06] <http://www.teijin.co.jp/english/index.html>
- [TOD 04] Todd Grimm, User's Guide to Rapid Prototyping, Publicată de SME, 2004, ISBN 0872636976, 9780872636972
- [UDO 95] Udo Behrendt, Mike Shellabear, The EOS rapid prototyping concept Source, Volume 28, Issue 1, pag. 57-61, 1995, ISSN: 0166-3615, Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, Netherlands
- [WHO 08] <http://www.wohlersassociates.com/Titan.jpg>
- [WIL 02] JOHN WILEY & SONS, INC. M. P. GROOVER, "Fundamentals of Modern Manufacturing 2/e", 2002
- [WTE 06] http://www.wtec.org/loyola/rp/03_01.htm, http://www.wtec.org/loyola/rp/03_02.htm
- [WTE 08] World Technology Evaluation Center, [2008] *World Technology Evaluation Center Inc. (WTEC). All rights reserved. Material contained in this website is based upon work supported by the National Science Foundation under grant no. ENG-0739505 and other NSF awards. Other federal agencies contributing to WTEC reports include the Department of Defense, the National Institutes of Health, the Department of Commerce, the Environmental Protection Agency, and the Food and Drug Administration.* <http://www.wtec.org/aboutus.htm> his reference designates the companion volume to this JTEC/WTEC report: Prinz, F. B., ed. *JTEC/WTEC panel report on rapid prototyping in Europe and Japan*. Vol. II. *Site reports*. Baltimore, MD: Loyola College. NTIS Report #PB96-199583.

```

*****
*
*           P R O G R A M   -   L I S T I N G
*
*****

!*****
! Notation .....: MASCA CNC           Inspector.....: DUME ADRIAN
! Drawing no. ....:                   Date .....: 21-Oct-08
! Workpiece name ..: MASCA_CNC_1
!*****

START

! CALIBRARE PALPATOR

DFNNOR (VAL=25.0002)
CA:MIP (NAM=PRB(1), DIA=2, NRF=Y, DFT=2, SNT=TP2)
MESPH (NAM=SPHERE(1), CSY=CMMA$CSY, CPY=DEF$SPH2, ITY=GSS, DEL=N)

! MASURARE ELEMENTE GEOMETRICE SISTEM DE REFERINTA

MEPLA (NAM=PLANE(1), CSY=CMMA$CSY, CPY=DEF$PLA3, DEL=Y)
MEAXI (NAM=AXIS(1), CSY=CMMA$CSY, PRO=PLANE(1), CPY=DEF$AXI6, PTY=SM, DEL=
MEAXI (NAM=AXIS(2), CSY=CMMA$CSY, PRO=PLANE(1), CPY=DEF$AXI6, PTY=SM, DEL=

! CONSTRUIRE SISTEM DE REFERINTA

BLDCSY (NAM=CSY(1), TYP=CAR, SPA=PLANE(1), SDR=+Z, PLA=AXIS(1), PDR=-X, XZE
< IS(2), YZE=AXIS(1), ZZE=PLANE(1))

! MASURARE ELEMENTE GEOMETRICE

MEPNT (NAM=POINT(1), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(2), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(3), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(4), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(5), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPLA (NAM=PLANE(2), CSY=CSY(1), CPY=DEF$PLA3, DEL=Y)

! EVALUARE DISTANTE
MCDPTPT (NAM=DISTANCE(1), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(1), T
< POI, ST1=POI, EL2=POINT(3), TY2=POI, ST2=POI, CNN=DIS)
MCDPTPT (NAM=DISTANCE(2), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(2), T
< POI, ST1=POI, EL2=POINT(4), TY2=POI, ST2=POI, CNN=DIS)
MCDPTPL (NAM=DISTANCE(3), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(5), T
< POI, ST1=POI, EL2=PLANE(1), TY2=PLA, ST2=PLA, CNN=DIS)
MCDPLPL (NAM=DISTANCE(4), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=PLANE(1), T
< PLA, ST1=PLA, EL2=PLANE(2), TY2=PLA, ST2=PLA, CNN=DIS)

LISTING

STOP

```


QUINDOS	MEASURING REPORT
LEITZ MESSTECHNIK GMBH	3D-APPLICATION CENTER

NOTATION: MASCA CNC DRAWING NO.: NOTES	PRODUCER: SERIAL NO.: PART NO.:
INSPECTOR: DUME ADRIAN MEASURING DEVICE ..: PFX 3 4 3	DEPARTMENT: TCM TEST DATE: 21-OCT-08 12:3

TEXT	EVAL.	ACTUAL	NOMINAL	U.TOL.	L.TOL.	ACT-NOM	GRAPHI
POINT(1)	POI						
	X	5.1864	0.0000	0.0500	-0.0500	5.1864	.
	Y	30.5616	0.0000	0.0500	-0.0500	30.5616	.
	Z	16.2617	0.0000	0.0500	-0.0500	16.2617	.
POINT(2)	POI						
	X	39.8677	0.0000	0.0500	-0.0500	39.8677	.
	Y	4.3059	0.0000	0.0500	-0.0500	4.3059	.
	Z	16.3126	0.0000	0.0500	-0.0500	16.3126	.
POINT(3)	POI						
	X	75.3530	0.0000	0.0500	-0.0500	75.3530	.
	Y	29.8166	0.0000	0.0500	-0.0500	29.8166	.
	Z	16.3481	0.0000	0.0500	-0.0500	16.3481	.
POINT(4)	POI						
	X	40.2644	0.0000	0.0500	-0.0500	40.2644	.
	Y	55.9744	0.0000	0.0500	-0.0500	55.9744	.
	Z	16.2963	0.0000	0.0500	-0.0500	16.2963	.
POINT(5)	POI						
	X	54.4791	0.0000	0.0500	-0.0500	54.4791	.
	Y	30.2671	0.0000	0.0500	-0.0500	30.2671	.
	Z	34.9378	0.0000	0.0500	-0.0500	34.9378	.
DISTANCE(1)	AXI						
	DX	70.1667	0.0000	0.0500	-0.0500	70.1667	.
DISTANCE(2)	AXI						
	DY	51.6685	0.0000	0.0500	-0.0500	51.6685	.
DISTANCE(3)	AXI						
	DZ	-34.9378	0.0000	0.0500	-0.0500	34.9378	.


```

*****
*
*                               P R O G R A M   -   L I S T I N G
*
*****

!*****
! Notation .....: MASCA CNC           Inspector.....: DUME ADRIAN
! Drawing no. ....:                   Date .....: 21-Oct-08
! Workpiece name ..: MASCA_CNC
!*****

START

! CALIBRARE PALPATOR

DFNNOR (VAL=25.0002)
CALMIP (NAM=PRB(1), DIA=2, NRF=Y, DFT=2, SNT=TP2)
MESPH (NAM=SPHERE(1), CSY=CMMA$CSY, CPY=DEF$SPH2, ITY=GSS, DEL=N)

! MASURARE ELEMENTE GEOMETRICE SISTEM DE REFERINTA

MEPLA (NAM=PLANE(1), CSY=CMMA$CSY, CPY=DEF$PLA3, DEL=Y)
MEAXI (NAM=AXIS(1), CSY=CMMA$CSY, PRO=PLANE(1), CPY=DEF$AXI6, PTY=SM, DEL=
MEAXI (NAM=AXIS(2), CSY=CMMA$CSY, PRO=PLANE(1), CPY=DEF$AXI6, PTY=SM, DEL=

! CONSTRUIRE SISTEM DE REFERINTA

BLDCSY (NAM=CSY(1), TYP=CAR, SPA=PLANE(1), SDR=+Z, PLA=AXIS(1), PDR=+X, XZE
< IS(2), YZE=AXIS(1), ZZE=PLANE(1))

! MASURARE ELEMENTE GEOMETRICE

MEPNT (NAM=POINT(1), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(2), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(3), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(4), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)
MEPNT (NAM=POINT(5), CSY=CSY(1), CTY=SM, DEL=Y)

! EVALUARE DISTANTE

MCDPTPT (NAM=DISTANCE(1), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(1), T
< POI, ST1=POI, EL2=POINT(3), TY2=POI, ST2=POI, CNN=DIS)
MCDPTPT (NAM=DISTANCE(2), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(2), T
< POI, ST1=POI, EL2=POINT(4), TY2=POI, ST2=POI, CNN=DIS)
MCDPTPL (NAM=DISTANCE(3), TYP=DIS, CSY=CSY(1), CPY=DEF$DIS3, EL1=POINT(5), P
< POI, ST1=POI, EL2=PLANE(1), TY2=PLA, ST2=PLA, CNN=DIS)

LISTING

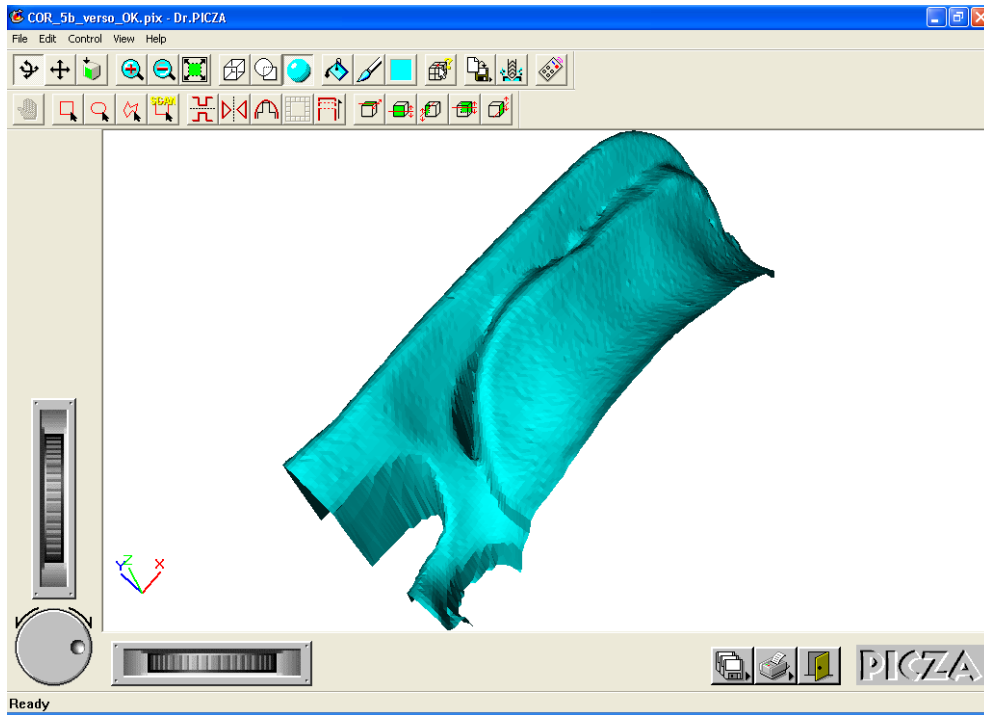
STOP

```

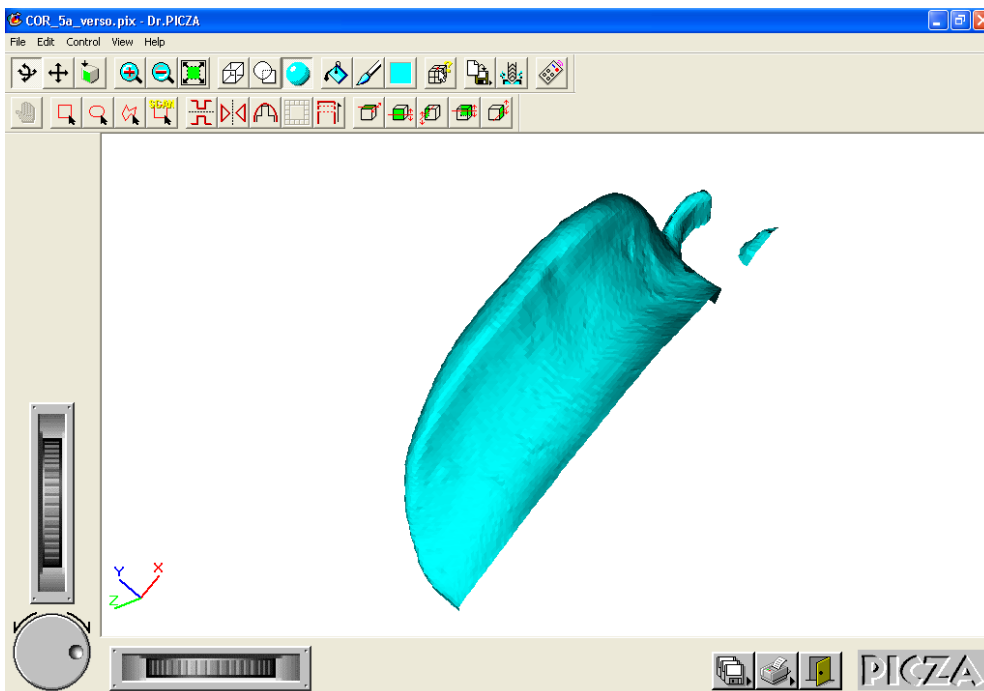
QUINDOS	MEASURING REPORT
LEITZ MESSTECHNIK GMBH	3D-APPLICATION CENTER

NOTATION : MASCA CNC	PRODUCER
DRAWING NO. :	SERIAL NO. :
NOTES	PART NO. :
INSPECTOR : DUME ADRIAN	DEPARTMENT : TCM
MEASURING DEVICE : PFX 3 4 3	TEST DATE : 21-Oct-08 12:3

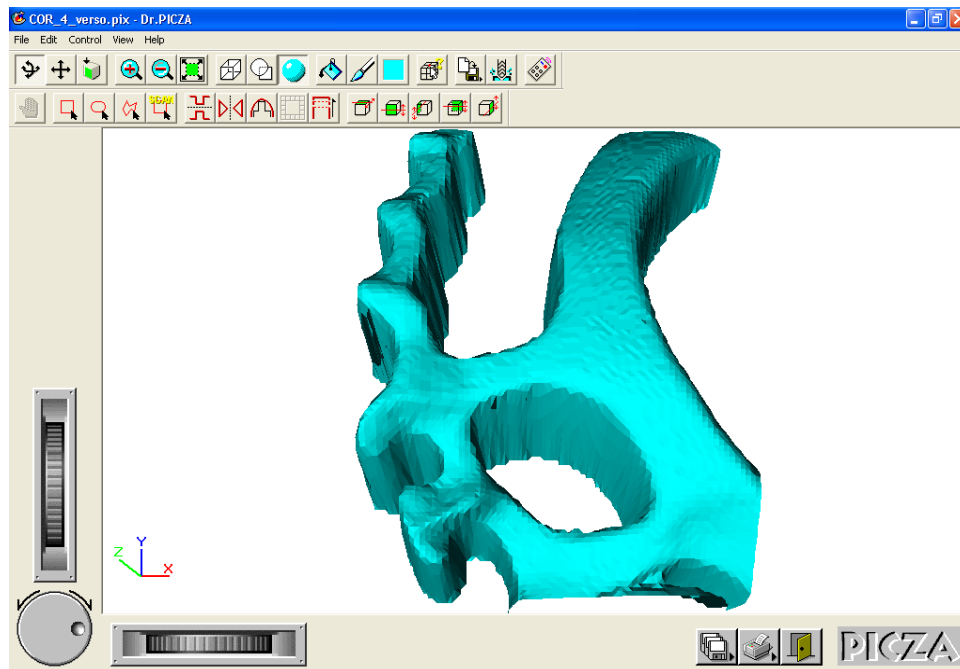
TEXT	EVAL.	ACTUAL	NOMINAL	U.TOL.	L.TOL.	ACT-NOM	GRAPH
POINT(1)	POI						
	X	5.1864	0.0000	0.0500	-0.0500	5.1864 .	
	Y	30.5616	0.0000	0.0500	-0.0500	30.5616 .	
	Z	16.2617	0.0000	0.0500	-0.0500	16.2617 .	
POINT(2)	POI						
	X	39.8677	0.0000	0.0500	-0.0500	39.8677 .	
	Y	4.3059	0.0000	0.0500	-0.0500	4.3059 .	
	Z	16.3126	0.0000	0.0500	-0.0500	16.3126 .	
POINT(3)	POI						
	X	75.3530	0.0000	0.0500	-0.0500	75.3530 .	
	Y	29.8166	0.0000	0.0500	-0.0500	29.8166 .	
	Z	16.3461	0.0000	0.0500	-0.0500	16.3461 .	
POINT(4)	POI						
	X	40.2644	0.0000	0.0500	-0.0500	40.2644 .	
	Y	55.9744	0.0000	0.0500	-0.0500	55.9744 .	
	Z	16.2963	0.0000	0.0500	-0.0500	16.2963 .	
POINT(5)	POI						
	X	54.4791	0.0000	0.0500	-0.0500	54.4791 .	
	Y	30.2671	0.0000	0.0500	-0.0500	30.2671 .	
	Z	34.9378	0.0000	0.0500	-0.0500	34.9378 .	
DISTANCE(1)	AXI						
	DX	70.1667	0.0000	0.0500	-0.0500	70.1667 .	
DISTANCE(2)	AXI						
	DY	51.6685	0.0000	0.0500	-0.0500	51.6685 .	
DISTANCE(3)	AXI						
	DZ	34.9378	0.0000	0.0500	-0.0500	34.9378 .	
DISTANCE(4)	AXI						
	DZ	10.2916	0.0000	0.0500	-0.0500	10.2916 .	



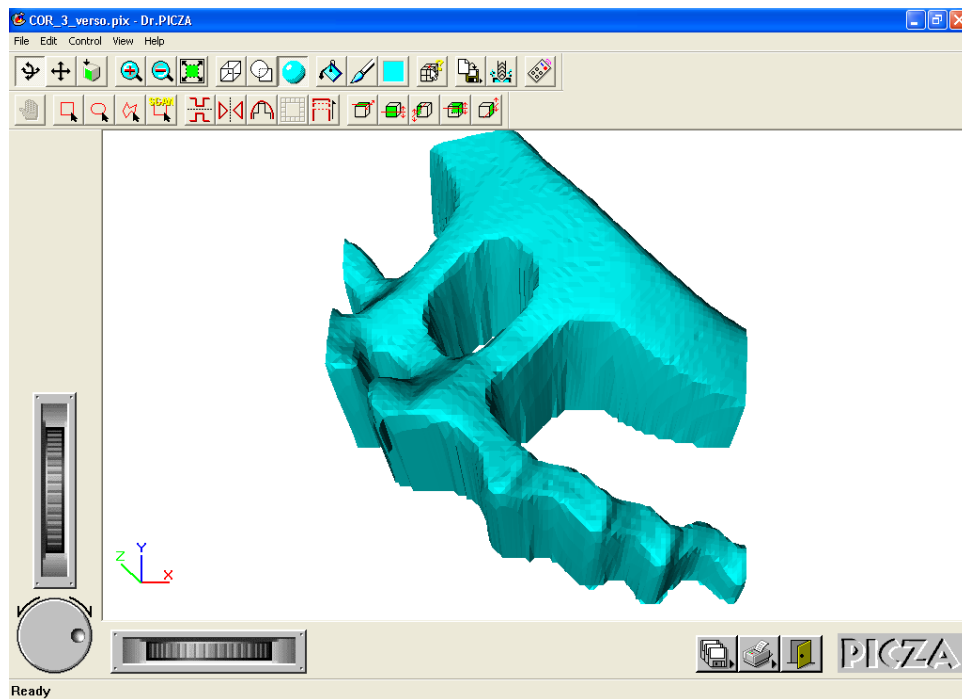
1. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 1)



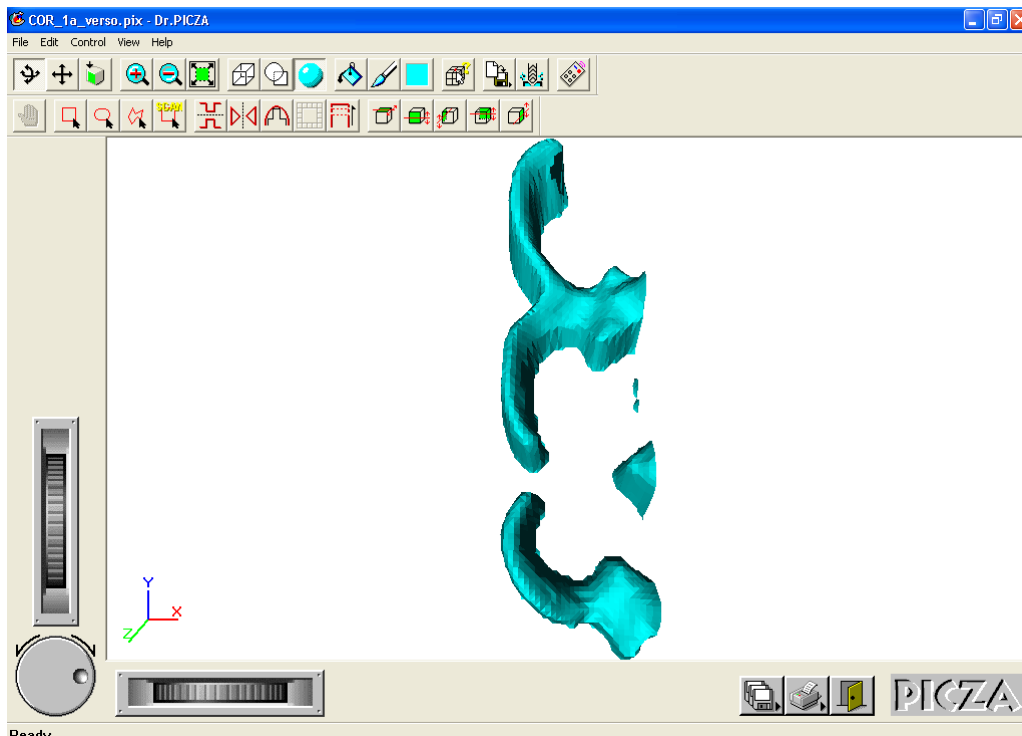
2. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 2)



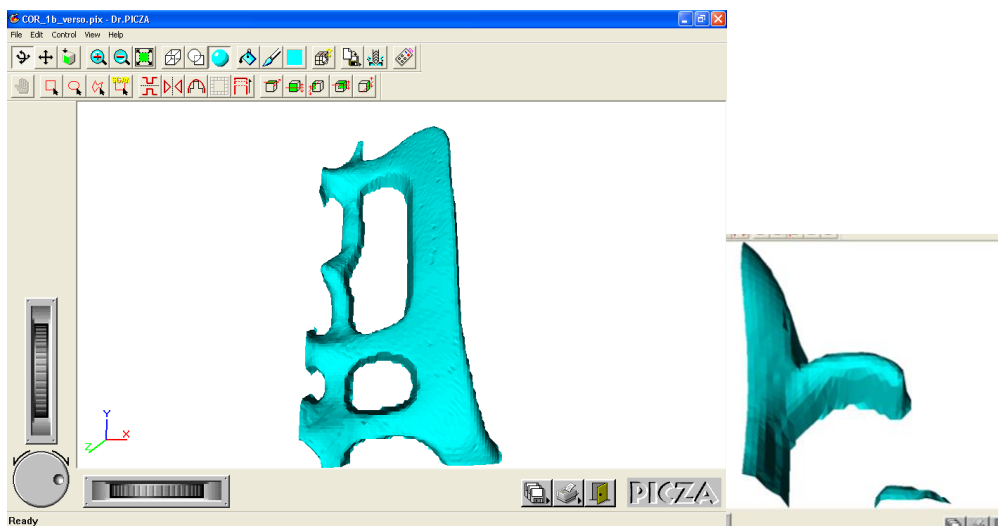
3. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 3)



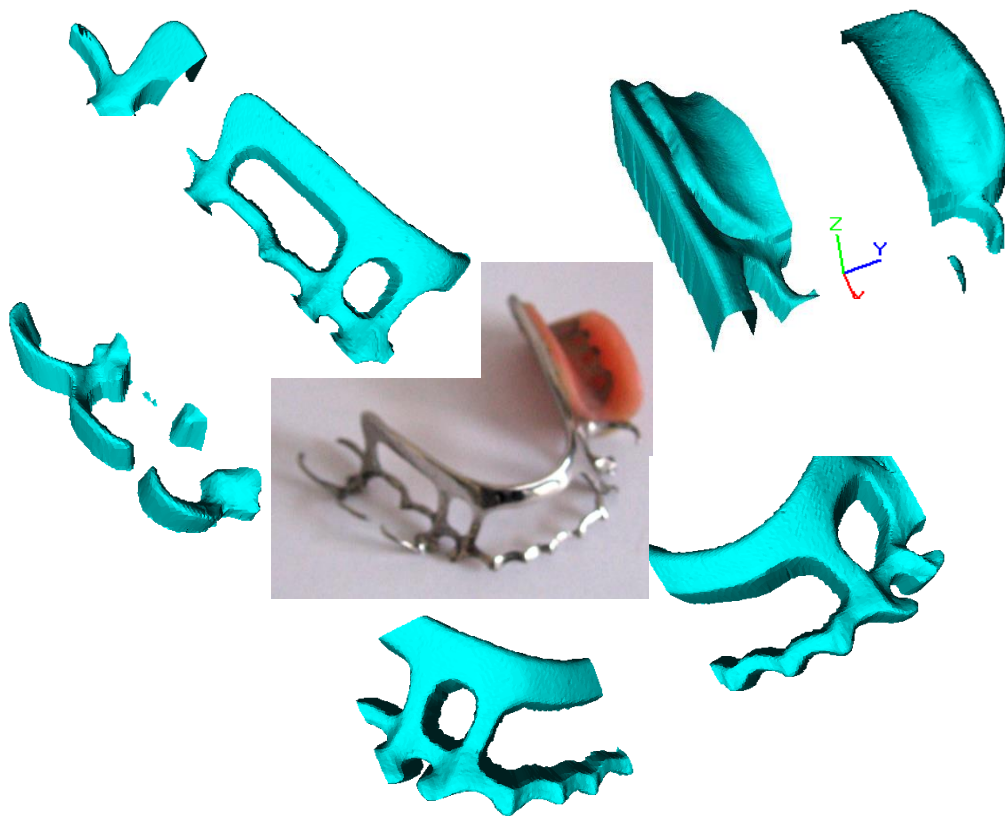
4. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 4)



5. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 5)



6. Suprafață verso „Proteză dentară” (segmentul 6)



7. Ansamblul părțile componente (segment 1- 6) pentru partea verso a protezei