

TEZĂ DE ABILITARE

**Creșterea eficienței fabricației prin
crearea unor sisteme software dedicate
și soluții pentru
valorificarea superioară a materialelor**

Domeniul: Inginerie industrială

**Autor: Conf. dr. ing. Camil-Traian-Sorin LANCEA
Universitatea *Transilvania* din Brașov**

BRAȘOV, 2021

Moto:

*Nu merge unde te duce drumul,
mergi pe unde nu există un drum ...
și lasă o urmă.*

Ralph Waldo Emerson

CUPRINS

Mulțumiri.....	6
Lista de abrevieri.....	7
Summary.....	8
(B) Realizări științifice și profesionale, planuri de evoluție și dezvoltare a carierei.....	15
(B-I) Realizări științifice și profesionale.....	15
Introducere.....	15
Capitolul 1 Cercetări privind generearea computerizată a programelor CN pentru mașinile unelte cu conducere numerică de strunjit și frezat sau pentru estinarea costurilor de prelucrare a produselor industriale.....	19
1.1. Sistemul CAD/CAM FASC2000.....	19
1.1.1. Curbe și suprafețe parametrice.....	23
1.1.1.1. Suprafața Bezier.....	24
1.1.1.2. Suprafețele Beta-spline.....	25
1.1.1.3. Suprafețele NURBS.....	27
1.1.2. Programarea asistată de calculator a MUCN –urilor.....	28
1.1.2.1. Modalități de conducere numerică și tipuri de MUCN –uri.....	30
1.1.2.2. Programul CN.....	32
1.1.3 Sistemul FASC2003 destinat frezării CN în 3 axe.....	34
1.1.3.1. Tipuri de suprafețe utilizate.....	36
1.1.3.2. Determinarea razei optime a sculei.....	38
1.1.3.3. Determinarea traseelor de prelucrare.....	39
1.1.3.4. Interfața sistemului FASC-2003.....	41
1.1.3.5. Modulul destinat prelucrării buzunarelor.....	42
1.1.3.6. Modulul destinat prelucrării canalelor cu contur închis.....	47
1.1.3.7. Modulul destinat prelucrării canalelor cu formă spirală.....	52
1.1.3.8. Modulul destinat prelucrării unor suprafețe din domeniul stomatologic	54
1.2 Sistemul CAD/CAM Fiting-NC destinat strunjirii CN în 2 axe.....	58
1.2.1. Interfața sistemului CAD/CAM Fiting-NC.....	59
1.2.2. Structura sistemului CAD/CAM Fiting-NC.....	60
1.2.3. Modulul CAD al sistemului Fiting-NC.....	61
1.2.4. Modulul CAM al sistemului Fiting-NC.....	63
1.2.5. Modulul de simulare al sistemului Fiting-NC.....	64
1.3. Sistemul software <i>WinCOST</i> destinat estimării costurilor de prelucrare a produselor industriale.....	65
1.3.1. Structura sistemului WinCOST.....	66

1.3.2. Modele matematice utilizate pentru calcularea timpilor auxiliari la prelucrările prin aşchiere.....	68
1.3.3. Modele matematice utilizate pentru determinarea timpilor auxiliari la frezare.....	69
1.3.3.1 Determinarea timpului de pregătire-încheiere	69
1.3.3.2 Determinarea timpilor auxiliari pentru prinderea și desprinderea piesei pe masa mașinii de alezat și frezat, la fixarea cu șuruburi și bride	70
1.3.3.3. Determinarea timpului ajutor pentru măsurări de control la prelucrarea pe mașini de frezat.....	70
1.3.3.4. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la operațiile de frezare.....	72
1.3.3.5. Determinarea timpilor auxiliari pentru prinderea și desprinderea piesei pe masa mașinii de alezat și frezat cu manipulare manuală, cu suprafața de bazare a piesei prelucrată, cu fixare pe colțar cu șuruburi și bride.....	77
1.3.3.6. Determinarea timpului ajutor pentru curățarea dispozitivului de aşchii.....	78
1.3.3.7. Determinarea timpului de deservire a locului de muncă la mașini de frezat pentru prelucrări cu o singură freză.....	80
1.3.3.8. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei pe masă cu manipulare manuală.....	81
1.3.3.9. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei în menghină cu manipulare manuală.....	81
1.3.4. Modele matematice utilizate pentru determinarea timpilor auxiliari la danturare.....	83
1.3.4.1. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare, la prelucrarea cu freze melc, cu manipulare manuală.....	83
1.3.4.2. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu freză disc modul pe mașini de frezat - fixare cu manipulare manuală.....	84
1.3.4.3. Determinarea timpului de pregătire-încheiere la mașini de danturat.....	86
1.3.4.4. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la mașini de danturat.....	87

1.3.4.5. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțit roată de mortezat.....	87
1.3.4.6. Determinarea timpului ajutor pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțit cremalieră.....	88
Capitolul 2 - Valorificarea superioară a materialelor pentru obținerea unor structuri complexe, cu rezistență mecanică ridicată și masă redusă prin utilizarea unui procedeu modern de fabricație aditivă – topirea selectivă cu laserul (SLM).....	89
2.1. Stadiul actual al cercetărilor întreprinse pentru valorificarea superioară a materialelor.....	89
2.2. Tipuri de fabricație aditivă.....	90
2.2.1. Procedeu de topire selectivă cu laserul.....	93
2.2.1.1. Etapele fabricării unei piese prin procedeul SLM.....	94
2.3. Cercetări privind rezistența la solicitările mediului ambiant și la coroziune a materialor utilizate la construirea sistemelor energetice durabile, fabricate prin SLM.....	95
2.3.1. Forma geometrică a eșantioanelor testate.....	96
2.3.2. Fabricarea eșantioanelor și materialele folosite.....	97
2.3.3. Studii de caz analizate și infrastructura folosită.....	99
2.3.3.1. Analiza microstructurii.....	101
2.3.3.2. Tehnici și echipamente folosite pentru analiza microdureții eșantioanelor.....	99
2.3.3.3. Fiabilitatea aliajelor de titan Ti-6Al-4V prin SLM.....	104
2.3.3.4. Analiza eșantioanelor din aliaje de titan Ti-6Al-4V fabricate prin SLM.....	105
2.3.3.5. Influența coroziunii asupra duratei de viață a aliajului AlSi10Mg fabricat prin SLM.....	112
2.4. Influența tratamentului termic asupra microstructurii și a proprietăților mecanice ale pieselor din TiAl6V4, fabricate prin SLM.....	123
2.4.1. Materialul probelor.....	123
2.4.2. Geometria probelor.....	124
2.4.3. Fabricarea probelor.....	124
2.4.4. Analiza microstructurii probelor.....	125
2.4.5. Analiza proprietăților mecanice ale probelor.....	126
2.4.6. Interpretarea rezultatelor.....	127

Concluzii.....	128
(B-II) Realizări științifice și profesionale.....	133
1. Competența profesională și didactică.....	133
2. Experiența în activitatea de cercetare.....	140
3. Planuri de dezvoltare a activității didactice.....	143
4. Planuri de dezvoltare a activității de cercetare științifică.....	145
5. Planuri de dezvoltare a carierei.....	145
Bibliografia.....	149

Mulțumiri

În cadrul acestei teze de abilitare sunt prezentate cele mai importante cercetări întreprinse de autor, începând cu anul 2003 și desfășurate de-a lungul unei perioade de aproape două decenii.

Această teză n-ar fi existat dacă o bună perioadă din viața mea, petrecută pe băncile școlii, nu ar fi fost influențată de o serie de Profesori deosebiți pe care am avut marea bucurie și onoare de a-i întâlni încă din anii învățământului gimnazial și liceal, când am devenit pasionat de studierea materiilor exacte, care ulterior m-au făcut să aleg o carieră în domeniul ingineriei. Trebuie să mărturisesc însă că hotărârea referitoare la alegerea carierei am luat-o în ultima parte a studiilor universitare, când, pe lângă pasiunea pentru inginerie, am descoperit o nouă pasiune: pasiunea pentru cercetare. Această pasiune m-a făcut să optez pentru continuarea studiilor de licență cu studii de masterat și apoi de doctorat.

Perioada în care am lucrat la teza de doctorat a fost cea mai frumoasă perioadă a carierei mele de până acum și aceasta se datorează în primul rând colaborării cu Domnului Profesor Nicolae-Valentin Ivan, coordonatorul tezei mele de doctorat. Atunci am conștientizat că Dumnezeu m-a binecuvântat cu un al treilea părinte, care mi-a ghidat pașii cu competență, cu răbdare și nu în ultimul rând, cu blândețe, atât în timpul elaborării tezei de doctorat dar și în viață. După finalizarea tezei de doctorat am avut deosebita onoare de a face parte din echipa de cercetare a tuturor proiectelor pe care le-a coordonat, perioadă în care am acumulat cele mai multe cunoștințe în domeniul ingineresc. Pentru toate acestea **VĂ MULȚUMESC, DOMNULE PROFESOR!**

Le mulțumesc, în mod deosebit, prietenilor și colaboratorilor mei apropiați șef. lucr. dr. ing. Lucia Chicoș, șef. lucr. dr. ing. Sebastian Zaharia și mat. dr. ing. Valentin Stamate, pentru numărul mare de articole sau proiecte în cadrul cărora am colaborat, realizând cea mai mare parte a cercetărilor prezentate în această teză.

Nu vreau să închei înainte de a le mulțumi, în egală măsură, tuturor colegilor de departament, pentru sfaturile competente și pentru tot sprijinul acordat începând cu perioada elaborării tezei de doctorat și până în prezent.

LISTA DE ABREVIERI

CAD:	Computer Aided Design (Proiectare Asistată de Calculator);
CAE:	Computer Aided Engineering (Inginerie Asistată de Calculator);
CAM:	Computer Aided Manufacturing (Fabricație Asistată de Calculator)
CAPP:	Computer Aided Process Planning (Concepție Asistată de Calculator a Proceselor de Fabricație)
CNC	Computer Numerical Control (Conducere Numerică Asistată de Calculator)
EBSD	Electron Back Scattered Diffraction (Difracție cu Electroni Retroîmprăștiați)
EDX	Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (Spectroscopie de Raze X cu Dispersie după Energie)
FASC2000	Frezarea Asistată a Suprafețelor Complexe
MDI	Manual Data Input
MUCN	Mașini-Unelte cu Comandă (conducere) Numerică
Plan TAD	Plan de Testare Accelerată de Degradare
Program CN	Program de Conducere Numerică
SEM	Scanning Electron Microscopy (Microscop de Scanare cu Electroni (SEM))
SLM	Selective Laser Melting (Topire Selectivă cu Laserul)
SFF	Solid Freeform Fabrication (Fabricarea Solidă a Formelor complexe)
STL	Stereolitografie
TAD	Testare Accelerată de Degradare

Summary of the habilitation thesis

The Habilitation Thesis "*Increasing the manufacturing efficiency by creating dedicated software systems and solutions for a better use of materials*" presents my activity in the field of Industrial Engineering from the professional scientific and academic point of view and is conducted after obtaining the PhD degree in September 2003. The title of my PhD thesis is "*NC Milling of 3D surfaces*" and was elaborated under the coordination and supervision of Prof. Ph.D. Eng. Nicolae-Valentin IVAN.

The Habilitation Thesis is structured in three parts:

- *scientific and professional achievements (B-i);*
- *career evolution and development plans (B-ii);*
- *references (B-iii).*

The Thesis approaches a research topic in the field of industrial engineering. The research activity is presented in two main directions:

- development of CAD / CAPP / CAM software systems dedicated to computer aided generation of the NC programs for CNC turning and milling machines or for the estimation of the processing costs of industrial products, presented in detail in the first chapter of this thesis;
- better use of materials in order to obtain complex structures with high mechanical strength and low mass, using a modern additive manufacturing process, selective laser melting (SLM) presented in detail in the second chapter.

The first chapter "Research on the computer aided generation of the NC programs for CNC turning and milling machines or for the estimation of the processing costs of industrial products", consists of three subchapters in which three original software systems are presented. The AutoCAD software with its programming language Visual LISP and the dialog windows language DCL were used. The CAD/CAM new created systems are dedicated to NC milling, NC turning or to manufacturing cost estimation of industrial products as follows:

The CAD/CAM System FASC-2000

In the first half of the period following the graduation of the doctoral studies I upgraded an original CAD / CAM system named FASC-2000 (Computer Aided Milling of Complex Surfaces). The upgrading of this system consisted in the extension of its area of applicability, from 2½ axes CNC machines to 3 axes CNC machines. Further I added new modules designed to diversify the types of surfaces that can be machined using the data provided by the system. In addition, the software area of applicability was extended from milling operations, for which it was originally designed, to turning operations.

Subsequently new modules were designed to diversify the types of the manufactured surfaces with the data provided by the system while increasing its area of application by adding to the milling operations the turning operations.

Within this software product the 3D manufacturing path is calculated in order to manufacture the designed surface; the optimal radius of the cutting tool is obtained automatically and the computer-user dialogue is carried out in the Romanian language; a technical support is also available to the user, also in Romanian.

To optimize the data input process the manufacturing design was half-automated. The manufacturing half-automation refers to:

- automatic retrieval of all the saved data that exists in the system (from the CAD phase);
- sequential dialogue guidance through dialog windows
(the effect is of substantially reducing the input data times by reducing the number of wrong data and by quickly retrieving the information needed for the manufacturing process)
- automatic generation of the NC program in accordance with the machine processor functions.

After adding the manufacturing module for 3 axes NC machines I designed a new module for manufacturing pockets of any shapes. New commands were created within this software to get the pocket shape very quickly:

- the optimal machining path was calculated;
- a procedure was created for the automatic division of the manufacturing depth when necessary;
- the NC machining program was automatically created based on the input data and on the pocket shape;
- the computer-user dialogue and the technical support were carried out in the Romanian language;
- the manufacturing design was half-automated.

The next module was made for the machining of the closed contour channels. In this software product the design of the shapes having regular geometries is much simplified due to the creation of its own database which includes some of the most common regular geometric shapes (square, triangle, hexagon, circle channels);

The procedure for designing channel paths with new geometries was simplified by defining new commands in the Drawing menu which runs using the Romanian language dialog:

- a procedure was designed for successive processing of several equidistant channels having identical shapes if the channel width is greater than the diameter of the milling tool;
- the possibility for rounding the channel corners with a constant or variable radius was created;
- the NC machining program was automatically created;
- the computer-user dialogue and the technical support were carried out in the Romanian language;
- the manufacturing design was half-automated.

Another module was made for machining spiral-shaped paths. Within this software product 4 predefined paths having a spiral form were designed. The modelling can be made exclusively through dialog boxes. All the facilities of the previous module are available too (commands that run in Romanian language, fillet possibilities, computer-user dialogue in Romanian language, half-automated manufacturing).

The last module added to the FASC-2000 system, so far, was the module for machining dental surfaces. Within this software product, a geometric model to be used for generating different molar tooth shapes was designed. The previous mentioned facilities are available too (commands and computer-user dialogue in Romanian language, half-automated manufacturing etc.).

The “Fitting-NC CAD/CAM system dedicated for 2-axis NC turning machines” [Lancea-09, Ivan-05].

After updating the FASC-2000 system with new modules another system was created: *Fitting-NC*, a CAD / CAM system for 2-axis NC turning. This software system is no longer an update of an existing product, it is a completely new product. To create it the following steps were taken:

- a new interface was fully designed;
- the CAD module is also a new one being designed so that all the input data used for modelling the fitting part can be taken over the dialog boxes;
- the new CAM and simulation modules were fully designed;
- the system has new commands implemented and a computer-user dialogue in Romanian language;
- the system also is guiding a half-automated manufacturing.

The WinCOST software system dedicated for estimating the manufacturing costs of the new industrial products” [Lancea-07a, Lancea-07b, CNCSIS-06]

Another software package to which I contributed by implementing new mathematical models was in the *WinCOST* software system and was designed to estimate the manufacturing costs of the new industrial products. Within this software system I obtained new mathematical models for calculating the auxiliary times for cutting operations and for determining the auxiliary times for gear cutting.

The second chapter, "Superior use of materials in order to obtain complex structures, with high mechanical strength and low mass, by using a modern additive manufacturing process: selective laser melting (SLM)" comprises four subchapters.

In the first two subchapters a brief presentation of the additive manufacturing technology is made. The chapters present the current state of the research undertaken for a better use of materials and the existing types of additive manufacturing.

The last three subchapters present the research undertaken in three research grants which I earned as a director.

Microstructural Analyses on Selective Laser Melted Inconel 718 As-built and Heat Treated

Within this grant [ESTEEM9 - 20], the microstructure of three types of parts, built of Inconel 718, by selective laser melting (SLM - Selective Laser Melting) were analysed. Most of the research, under this grant, was conducted in Poland at the AGH University of Science and Technology (Akademia Górniczo-Hutnicza), Faculty of Metal Engineering and Industrial Informatics.

To make these determinations, at the beginning the parts were designed and afterward several parts were manufactured using SLM technology. After manufacture, the parts were split into three sets: two sets were subjected to heat treatments, by using two different kinds of cycles and temperatures exposure, and the third set remained as built. All these procedures were performed at the Research-Development Institute of Transilvania University.

All the subsequent analyses, of the three sets of parts, regarding their microstructure and their chemical composition, was performed at the AGH University of Science and Technology.

Research on the resistance to environmental stress and corrosion of materials used for building sustainable energy systems, manufactured by SLM

Within this grant [Sfera-13] the resistance to environmental stress and corrosion of three types of materials, obtained by selective laser melting was analysed. The research was carried out in Italy at the National Agency for Energy, Environment and New Technologies ENEA (Ente Nazionale per l'Energia, l'Ambiente e le Nuove Tecnologie).

First the geometric shape of the analysed samples was developed and designed after which the materials of the samples were chosen in accordance with the tests to be subjected.

The following steps were accomplished:

- selection of the manufacturing process for the samples (SLM) and the machine (SLM 250HL);
- effective manufacture of samples specifying the chosen manufacturing parameters;
- description of the analysed case studies and of the equipment used to carry out the research;
- analysis of the microstructure and microhardness of samples of Ti-6Al-4V alloys subjected to a combined test: temperature-humidity-ultraviolet radiation and at a corrosion test;
- presentation of conclusions;
- analysis of the corrosion influence on the lifetime of the AlSi10Mg alloy, manufactured by SLM, obtained after following the accelerated tests.

Learning and understanding of manufacturing techniques by Selective Laser Melting (SLM) in order to acquire the skills necessary to operate the SLM250HL machine at an advanced level

Within this grant [Lancea-17b] the influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of TiAl6V4 parts, manufactured by selective laser melting, was analysed. A titanium Grade 23 powder (also known as TiAl6V4 ELI, which is the high purity version of TiAl6V4 alloy used in the previous project) was chosen to produce six identical specimens through SLM, having a Lattice structure obtained as a three-dimensional pattern of a 3D cell.

The above presented steps regarding the choice of the samples shape were completed. The difference is that in this situation the best SLM machine in the company *SLM Solutions* and the best material at that time were used for manufacturing (February 2018).

After the fabrication of the samples half of them were subjected to a homogenization heat treatment in order to perform a comparative analysis of the microstructure and mechanical properties of the two sets of samples.

By analysing the microstructure of the as-built and heat-treated samples was found that the heat treatment lead to a much uniform structure, having less pores and more stable phases. At the same time, heat-treated samples proved a better mechanical resistance too. In these conditions it can be concluded that the homogenization heat treatment of TiAl6V4 parts, manufactured by SLM, is useful.

The Habilitation thesis ends with the bibliography containing all the reference materials used for writing this paper.

(B) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE, PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

(B-i) REALIZĂRI ȘTIINȚIFICE ȘI PROFESIONALE

Introducere

Prezenta lucrare abordează două direcții principale de cercetare referitoare la fabricarea pieselor. Prima dintre acestea vizează procedee clasice, cum ar fi prelucrările prin așchiere (strunjirea și frezarea), iar cea de-a doua, procedee moderne precum fabricația aditivă. Astfel, în prima parte se prezintă o serie de pachete software CAD/CAPP/CAM, originale, destinate generării computerizate a programelor CN, pentru mașini-unelte cu conducere numerică de strunjit și frezat sau pentru estimarea costurilor de prelucrare a produselor industriale. Partea a doua aduce în prim plan o serie de contribuții ce vizează valorificarea superioară a materialelor, prin utilizarea unui procedeu recent de fabricație aditivă: topirea selectivă cu laserul (Selective Laser Melting).

Ambele părți prezintă realizările științifice ale autorului, după anul 2003, când a finalizat teza de doctorat intitulată *Prelucrarea prin frezare a suprafețelor 3D pe MUCN –uri*, sub coordonarea științifică a d-lui prof. univ. dr. ing. Nicolae-Valentin IVAN [Lancea-03]. Cercetările realizate în cadrul tezei de doctorat s-au desfășurat în cadrul Universității Transilvania din Brașov, la Southbank University – Londra (1998) și Fachhochschule Wurzburg-Schweinfurt – Schweinfurt 1999.

O parte din rezultatele cercetărilor cuprinse în teza de doctorat au fost incluse de autor în prima sa carte de specialitate intitulată „Concepție și fabricație asistate de calculator, compusă din 224 de pagini, ce a fost publicată la Editura Universității TRANSILVANIA din Brașov, în anul 2005 [Lancea-05a]. O altă parte a rezultatelor cercetărilor obținute în cadrul tezei de doctorat au fost publicate în numeroase articole din jurnale științifice sau au fost prezentate la conferințe naționale și internaționale [Lancea-11, Lancea-10,

Lancea-09, Lancea-08, Lancea-07, Lancea-05a, Lancea-05b, Lancea-04a, Lancea-04b, Lancea-04c, Lancea-04d, Lancea-03a, Lancea-03b, Lancea-03c].

În perioada de după finalizarea tezei de doctorat autorul a colaborat și cu alte universități de profil din Europa, atât în cadrul unor activități de cercetare, derulate în cadrul unor proiecte internaționale de tip TEMPUS (2004), cât și în domeniul didactic, prin susținerea de cursuri la Universitatea din Debrecen, Ungaria (în anul 2006) sau la Universitatea de Tehnologie din Bratislava (în anii 2006, 2011, 2017 sau 2018).

Concomitent, activitatea de cercetare s-a desfășurat și în cadrul unor granturi naționale sau internaționale câștigate prin competiție în care autorul a fost director, a coordonat anumite secțiuni sau a făcut parte din echipa de cercetare, printre care:

- trei proiecte internaționale SFERA, în cadrul cărora au fost realizate o serie de cercetări privind:
 - rezistența la coroziune a diferitelor materiale utilizate pentru construirea sistemelor de energie durabilă (în anul 2013) [Sfera-13] - în calitate de director;
 - predicția comportamentului și a duratei de viață a materialelor pentru sistemele de energie regenerabilă în cadrul testelor de fiabilitate accelerată (în anul 2012) [Sfera-12] – în calitate de membru al echipei de cercetare;
 - folosirea energiei solare concentrate pentru tratamentul termic al aliajului Ti6Al4V obținut prin topire selectivă cu laser, (în anul 2017) [Sfera-17] – în calitate de membru al echipei de cercetare;
- proiecte de cercetare naționale și internaționale:
 - proiectul UEFISCDI Tehnologia emergentă de topire selectivă cu laser (Selective Laser Melting - SLM) - teorie și practică în dezvoltarea resursei umane, în perioada noiembrie 2017 – februarie 2018 [Lancea-17b] – în calitate de director;
 - grantul Microstructural studies on Selective Laser Melting Ti6Al4V heat treated using Concentrated Solar Energy, în perioada 16 - 22 februarie [Grant-20] – în calitate de membru al echipei de cercetare;

- programe de cercetare de tip parteneriat în domenii prioritare, în colaborare cu universități de prestigiu din țară [CEEX-05, PNCDI-10];
- proiecte CNCSIS pe care autorul le-a coordonat în calitate de director tehnic [CNCSIS-03], director științific [CNCSIS-06], sau a fost membru a echipei de cercetare [CNCSIS-08, CNCSIS-05].

Toate cercetările întreprinse începând cu anul 2003 și până în prezent, ce urmează a fi prezentate în continuare, au avut la bază experiența acumulată de autor în timpul elaborării tezei de doctorat sau în cadrul activităților didactice și de cercetare, desfășurate de-a lungul unei perioade de aproape două decenii. Acestea s-au derulat, așa cum s-a menționat mai sus, în cadrul unor proiecte de cercetare între instituții de învățământ superior sau centre de cercetare din țară și din străinătate sau prin granturi naționale și internaționale, câștigate prin concurs. Diseminarea rezultatelor obținute s-a realizat cu preponderență prin participarea la sesiunile unor conferințe internaționale [Lancea-11, Lancea-10, Lancea-09, Lancea-08, Lancea-07, Lancea-05b, Lancea-04a, Lancea-04b, Lancea-04c, Lancea-04d etc.] sau prin publicarea lor în jurnale de specialitate indexate în baze de date [Lancea-15, Lancea-14, Lancea-13, Lancea-12, Lancea-04e, Lancea-04f] sau cotate ISI [Lancea-18, Chicoș-18, Zaharia-18, Zaharia-17, Zaharia-20].

Dezvoltarea profesională în plan didactic s-a realizat pe mai multe direcții precum:

- numeroase schimburi de experiență cu colegi de la universități din țară (Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, Universitatea Politehnică din București, Universitatea "Lucian Blaga" din Sibiu, Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași) și străinătate (University of Nottingham, Loughborough University, Fachhochschule Wurzburg-Schweinfurt, Southbank University din Londra, Universitatea Tehnică a Moldovei din Chișinău, Universitatea din Miskolc, Matej Bel University din Banská Bystrica) în cadrul unor proiecte ERASMUS sau TEMPUS;
- prin mobilități de predare efectuate la Universitatea de Tehnologie din Bratislava sau la Universitatea din Debrecen, în cadrul unor proiecte CEEPUS;
- prin participarea la cursuri de perfecționare (training) în domeniul IT: curs de specializare în utilizarea sistemelor CAD/CAM: AutoCAD, Power Shape, Power Mill, Cimatron și Pro/Engineer sau în domeniul ingineriei industriale: curs de

managementul calității, școală de vară: 1-ère école d'été franco-roumaine sur la qualité dans l'industrie: L'Université Transilvania de Brasov (Roumanie) en partenariat avec l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (France)

- prin colaborarea cu firme importante din mediul industrial (Schaeffler Romania, DTR Drăxlmaier Sisteme Tehnice România S.R.L. Autoliv România, QUIN România S.R.L., STABILUS România SRL, PREMIUM AEROTEC SRL, Preh România), colaborare ce s-a materializat și cu înființarea unui program de studii de masterat profesional, unic în țară prin specializările pe care le oferă, denumit Ingineria Proceselor de Fabricație Avansate.
- prin organizarea unei conferințe studențești internaționale în data de 28.03.2006, din al cărei prezidiu au făcut parte și personalități din conducerea INA Schaeffler Germania – domnii Bernhard Auernheimer și Bernhard Schwab;
- prin organizarea Workshop-ului intitulat „Fabricație Inovativă”, organizat de catedra TCM a Universității Transilvania din Brașov, în calitate de membru în colectivul de organizare.

În această perioadă, rezultatele obținute în cadrul activităților didactice și de cercetare, desfășurate de autor, s-au materializat și prin publicarea a 5 cărți, în calitate de unic autor, de prim autor sau de coautor [Lancea-20, Lancea-05c, Ivan-04, Chicoș-09, Oancea-08].

Concluzionând se poate afirma că cea mai mare parte a activității de cercetare, care s-a desfășurat de la publicarea tezei de doctorat și până în prezent, s-a dezvoltat pe două mari direcții:

- extinderea și dezvoltarea unor pachete software CAD/CAPP/CAM destinate generării computerizate a programelor CN, pentru mașini-unelte cu conducere numerică de strunjire și frezare sau estimării costurilor de prelucrare a produselor industriale;
- valorificarea superioară a materialelor pentru obținerea unor structuri complexe, cu rezistență mecanică ridicată și masă redusă, prin utilizarea unui procedeu modern de fabricație aditivă: topirea selectivă cu laserul (SLM).

Capitolul 1. CERCETĂRI PRIVIND GENERAREA COMPUTERIZATĂ A PROGRAMELOR CN PENTRU MAȘINI-UNELTE CU CONDUCERE NUMERICĂ DE STRUNJIT ȘI FREZAT SAU PENTRU ESTIMAREA COSTURILOR DE PRELUCRARE A PRODUSELOR INDUSTRIALE

În prima jumătate a perioadei de după susținerea publică a tezei de doctorat, am dezvoltat sistemul CAD/CAM original FASC-2000 (Frezarea Asistată de calculator a Suprafețelor Complexe), realizat în cadrul acestei teze. Dezvoltarea sistemului a constat inițial în extinderea ariei lui de aplicabilitate, de la MUCN-urile în $2\frac{1}{2}$ axe la cele în 3 axe. Ulterior s-au conceput module noi, destinate diversificării tipurilor de suprafețe prelucrate cu datele furnizate de sistem, mărindu-se totodată și aria lui de aplicabilitate prin adăugarea la operațiile de frezare (pentru care a fost conceput) și a operațiilor de strunjire.

1.1. Sistemul CAD/CAM FASC2000

Inițial pachetul software oferea tot suportul necesar generării unei suprafețe spațiale, definite prin patru curbe oarecare, ce se intersectau la capete, două câte două (Fig 1.1), în vederea obținerii programului CN destinat frezării acestora pe o MUCN în $2\frac{1}{2}$ axe.

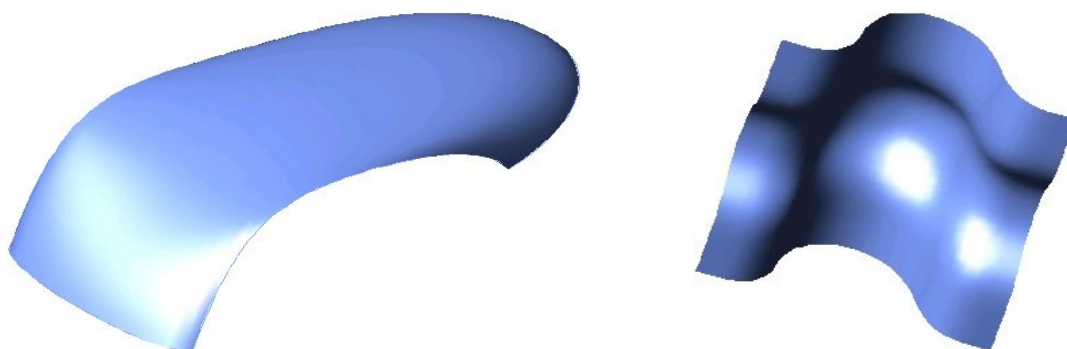


Fig. 1.1 Suprafețe tridimensionale complexe

Sistemele CAD [Ivan-01, Lee-99, Roller-12, Zeid-05, Zeid-09] sunt definite ca fiind acele sisteme al căror principal scop constă în crearea de modele tridimensionale, în regim asistat de calculator, care să poată fi utilizate apoi pentru fabricarea, analizarea sau

testarea lor. Proiectarea asistată de calculator a unui produs poate fi realizată în patru etape [Saxena-05]:

a. Definirea problemei

Constă în identificarea unei noi nevoi sau în îmbunătățirea unui produs deja existent, pe baza experienței personale sau a unor informații culese printr-un sondaj detaliat, adresat utilizatorilor produsului sau în baza unui feedback primit de la firmele care îl comercializează.

b. Proiectarea constructivă

În cadrul acestei etape se caută o soluție de proiectare care să satisfacă o nevoie identificată anterior sau să îmbunătățească un produs deja existent. Acest proces poate avea ca finalitate obținerea mai multor soluții ce urmează apoi să fie evaluate, în baza experienței acumulate sau în urma unor consultări cu persoanele ce au o vastă experiență în domeniu, în vederea obținerii unei soluții viabile sau a unui număr restrâns de astfel de soluții.

Totodată se mai urmărește îmbinarea armonioasă a funcțiunilor pe care produsul trebuie să le îndeplinească. Astfel, o etapă deosebit de importantă, din punct de vedere economic, o constituie alegerea materialului din care va fi confecționat produsul, în funcție de destinația și de prelucrabilitatea acestuia, pentru ca în final să se obțină nu numai un produs util ci și unul care să fie competitiv pe piață.

c. Analizarea modelului

Această etapă presupune analizarea variantei sau a variantelor propuse pentru forma geometrică a produsului, rezultate în urma fazei de proiectare constructivă. Astfel, produsul poate fi redimensionat sau chiar remodelat dacă este cazul, în urma verificării funcționalității lui, a analizei de rezistență și fiabilitate, a procedeelelor de fabricație, a micșorării costurilor sau a impactului pe care acesta îl are asupra mediului. Și în această situație pot fi evaluate mai multe variante urmând ca în final să fie aleasă aceea care satisface majoritatea cerințelor impuse (sau într-un caz ideal, toate cerințele impuse).

d. Testarea prototipului

Verificarea finală a prototipului are loc după fabricarea acestuia și presupune evaluarea lui fizică, în condiții de încărcare reală, înaintea începerii producției propriu-zise. În această etapă se aduc ultimele modificări de proiectare fiind, de fapt, o interfață între fazele CAD și CAM.

În majoritatea cazurilor testarea se face până la distrugerea prototipului pentru a se putea culege cât mai multe informații necesare obținerii unui produs de calitate.

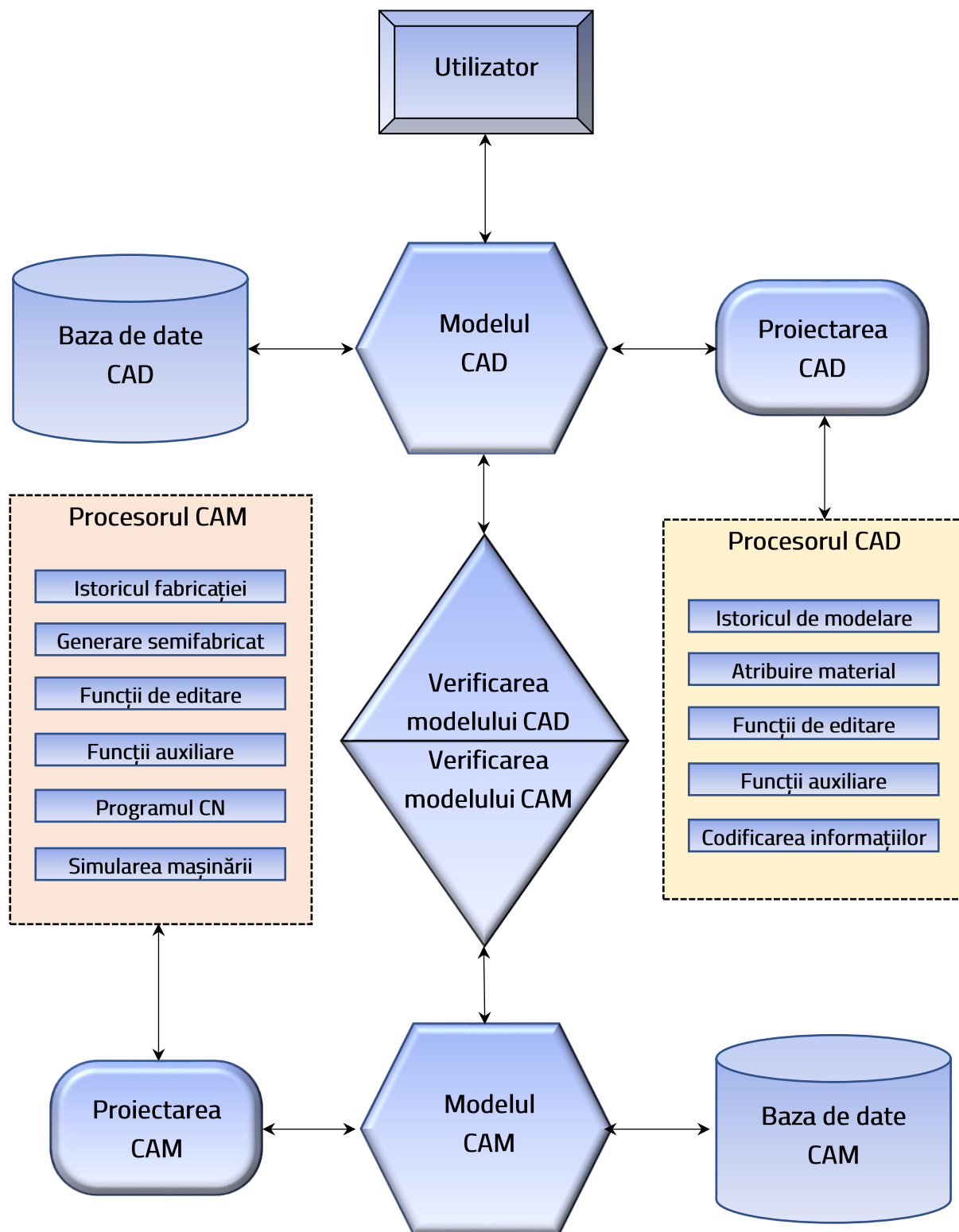


Fig. 1.2 Structura unui sistem CAD

Întreaga muncă ce urmează a fi depusă pentru stabilirea și perfecționarea funcțiilor pe care trebuie să le îndeplinească un produs nou, dar și modul în care acesta va fi prelucrat, trebuie organizată și structurată în așa fel încât toate elementele ce vor defini produsul să poată fi codificate și apoi integrate într-un sistem CAD [Lancea-05c, Chang-98, Lee-99, Maziero-2000]. De asemenea, toate informațiile ce stau la baza descrierii și modelării produsului trebuie prelucrate și codificate în așa fel încât să poată fi accesate ulterior în vederea proiectării fabricației (Fig. 1.2).

Pentru ca piesele proiectate să aibă o precizie ridicată și să poată fi ulterior ușor modificate au fost folosite curbele și suprafețele parametrice pentru modelarea lor. În cele ce urmează vor fi prezentate câteva dintre curbele și suprafețele parametrice utilizate cu preponderență de majoritatea sistemelor CAD.

Variatatea proceselor de prelucrare existente în prezent a făcut posibilă fabricarea unor piese cu o mare diversitate de forme. Dacă până la sfârșitul mileniului trecut, pentru proiectarea pieselor metalice trebuia să se aibă în vedere dacă procedeul sau procedeele de prelucrare alese permiteau sau nu fabricarea lor, după anii 2000, odată cu apariția mașinilor de topire selectivă cu laser a metalelor și aliajelor, această problemă a dispărut. Prin tehnologiile SLM se poate construi astăzi orice tip de piesă, plecând de la modelul CAD, indiferent de forma și de complexitatea acesteia.

Nivelul de complexitate al pieselor, fabricate în prezent, depinde doar de capacitatea sistemului CAD de a genera configurația dorită, dublată bineînțeles și de experiența și ingeniozitatea proiectantului. Pentru modelarea pieselor simple, dar și pentru modelarea pieselor cu geometrii din cele mai complexe, se apelează în prezent la curbe și suprafețe parametrice.

Pachetul software ce a fost utilizat de către autor pentru modelarea pieselor cu geometrii complexe și apoi pentru proiectarea programului CN, destinat mașinării lor, este AutoCAD, dublat de pachetul acestuia de programare, VisualLisp și de limbajul DCL, destinat proiectării ferestrelor de dialog. Pentru a folosi eficient cele trei pachete software trebuie analizate mai întâi toate variantele oferite de sistemul CAD în vederea modelării piesei și apoi trebuie aleasă soluția optimă ce conduce la fabricarea acesteia.

Software-ul AutoCAD folosește pentru generarea și modelarea suprafețelor curbe suprafețele de tip Bezier sau Beta-spline. Pentru a alege varianta optimă de modelare a pieselor trebuie avute în vedere următoarele aspecte:

- pentru ca geometria piesei modelate să copieze cât mai fidel geometria piesei reale, trebuie să existe comenzi care să permită modelarea suprafețelor de prelucrat din aproape în aproape și pe zone mici;
- să fie posibilă generarea și modificarea geometriei piesei în regim dinamic;
- comenzile de modelare disponibile trebuie permită obținerea modelului CAD într-un timp cât mai scurt;
- atunci când sunt necesare modificări geometrice ulterioare sistemul trebuie să-i permită utilizatorului inclusiv intervenția pe zone mici, astfel încât modificările operate să nu ducă la modificarea întregii configurații a piesei;
- toate informațiile necesare modelării geometrice a piesei (aferele fazei CAD) trebuie să fie preluate în faza CAM pentru generarea programului CN.

În continuare va fi analizată eficiența folosirii a două dintre cele mai uzuale curbe ce stau la baza generării suprafețelor spațiale în sistemele CAD: curbele Bezier și Beta-spline.

1.1.1. Curbe și suprafețe parametrice

Curbele parametrice sunt generate prin intermediul unor funcții univariabile (definite de un singur parametru) iar suprafețele parametrice sunt generate cu ajutorul funcțiilor bivariabile sau biparametrice.

Punctele situate pe curbe sau pe suprafețe [Barsky-83] sunt definite prin intermediul vectorilor liniari, în felul următor:

- $[X(u) Y(u)]$ – punct al unei curbe plane din spațiul Euclidian;
- $[X(u) Y(u) Z(u)]$ – punct al unei curbe spațiale din spațiul Euclidian;
- $[X(u,v) Y(u,v) Z(u,v)]$ – punct al unei suprafețe spațiale din spațiul Euclidian;

De regulă curbele și suprafețele parametrice nu pot fi definite printr-o singură funcție analitică. Din acest motiv, acestea sunt descrise pe porțiuni, fiecare porțiune fiind definită

de funcția ei proprie. O curbă parametrică este formată din mai multe segmente de curbă, iar o suprafață parametrică se compune din mai multe petece de suprafață (fig. 1.2).

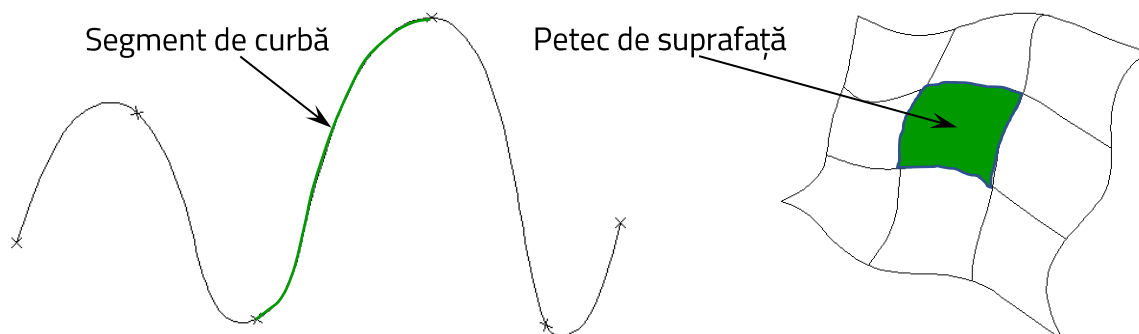


Fig. 1.3 Curba și suprafața parametrică

Trei dintre cele mai utilizate tipuri de suprafețe folosite în cadrul sistemelor CAD/CAM pentru modelare sunt: suprafețele Bezier, suprafețele Beta-spline și suprafețele NURBS. În următorul capitol acestea vor fi analizate pentru a se stabili care dintre ele este cea mai potrivită pentru modelarea formelor spațiale.

1.1.1.1. Suprafața Bezier

Suprafața Bezier este o suprafață definită de vertexurile unui poliedru de control [Lee-99, Prautzsch-02]. Ecuația suprafeței Bezier este dată de relația [Barsky-83]:

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m P_{i,j} B_{i,n}(u) B_{j,m}(v) \quad (0 \leq u \leq 1, \quad 0 \leq v \leq 1) \quad (1-1)$$

unde: $P_{i,j}$ sunt vertexurile poliedrului de control;

$B_{i,j}$ sunt funcțiile ce definesc curbele Bezier.

Din relația (1-1) se observă că gradul ecuației suprafeței Bezier în u și v este definit de numărul vertexurilor de control pe direcțiile respective.

Calculând suma după j relația (1-1) devine [Barsky-83]:

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n [P_{i,0} B_{0,m}(v) + P_{i,1} B_{1,m}(v) + \dots + P_{i,m} B_{m,n}(v)] B_{i,n}(u) \quad (1-2)$$

Analizând în continuare relația (1-2), se observă că suprafața Bezier este formată din cele $(n+1)$ funcții ale curbelor Bezier și de funcțiile $B_{i,n}(u)$. Altfel spus, suprafața Bezier este generată în urma înlocuirii tuturor vertexurilor de control ce stau la baza generării curbei Bezier cu curbe Bezier.

1.1.1.2. Suprafețele Beta-spline

Suprafețele Beta-spline, la fel ca și curbele Beta-spline [Lee-99, Prautzsch-02], sunt definite prin intermediul vertexurilor de control. În general, aceste puncte nu aparțin suprafeței pe care o descriu, dar poziția lor definește în întregime geometria acesteia.

O suprafață Beta-spline este definită într-un spațiu tridimensional, prin intermediul unei mulțimi formate din vertexuri de control. Suprafața nu se obține prin interpolare, iar vertexurile sunt dispuse într-o rețea rectangulară bidimensională (fig. 1.4)

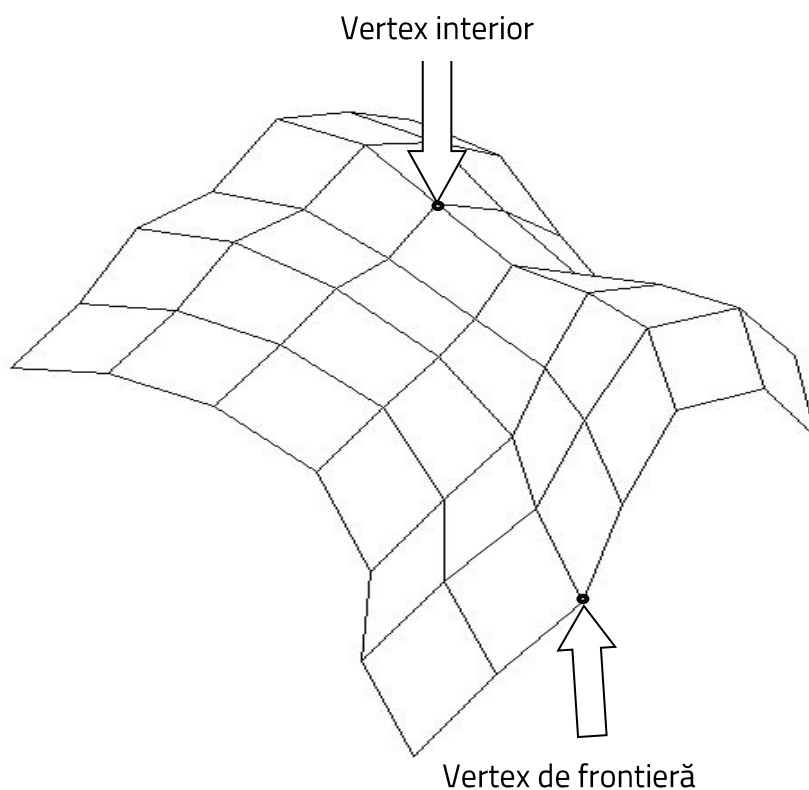


Fig. 1.4 Suprafața Beta-spline

O suprafață Beta-spline prezintă două tipuri de vertexuri de control:

- vertexuri interioare,
- vertexuri de frontieră.

Un vertex interior se învecinează cu alte patru vertexuri, iar un vertex de frontieră doar cu trei, exceptând cazul vertexurilor aflate în cele patru colțuri ale suprafeței care au doar două vertexuri vecine.

Aceste noțiuni pot fi prezentate și sub forma unor formule matematice, folosind teoria rețelelor [Barsky-83]. Mulțimea vertexurilor de control este formată, la rândul său, din două submulțimi $\{V,E\}$ compuse din:

$$V = \{V_{i,j} | i = 0,1..m; j = 0,1..n\} \quad (1-3)$$

$$E = \{V_{i,j}, V_{i,j+1} | i = 0,1..m; j = 0,1..n-1\} \cup \{V_{i,j}, V_{i+1,j} | i = 0,1..m-1; j = 0,1..n\} \quad (1-4)$$

Folosind reprezentarea matematică de mai sus rezultă următoarele relații [Barsky-83] pentru:

- vertexurile interioare:

$$V_{i,j} \text{ unde } 1 \leq i \leq m-1 \text{ și } 1 \leq j \leq n-1$$

- vertexurile de frontieră

$$V_{0,j} \text{ unde } j = 0,1..n-1;$$

$$V_{i,n} \text{ unde } i = 0,1..m-1;$$

$$V_{m,j} \text{ unde } j = 1,2..n;$$

$$V_{0,j} \text{ unde } j = 1,2..m;$$

Avantajul suprafețelor Beta-spline, comparativ cu suprafețele Bezier, constă în faptul că aceste suprafețe sunt definite din aproape în aproape, fiecare vertex de control având asociată o funcție unică, ce îi definește poziția. Astfel, orice modificare a unui vertex nu are efect asupra întregii geometrii a suprafeței, ceea ce conferă un control mult mai exact a fiecărei porțiuni de suprafață. Datorită acestei proprietăți modificările pot fi efectuate pe porțiuni mici, doar în zonele unde trebuie schimbată configurația suprafeței, fără a se deforma întreaga ei geometrie.

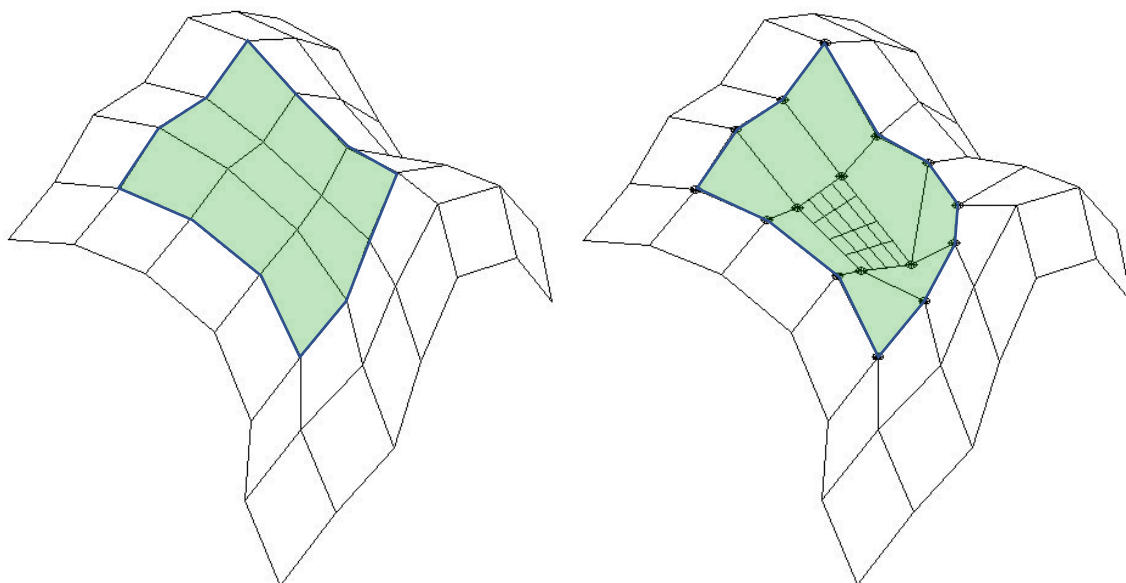


Fig. 1.5 Modificarea geometriei suprafețelor Beta-spline

În cazul suprafețelor Beta-spline, fiecare petec de suprafață este controlat de 16 vertexuri de control și orice modificări geometrice ale celorlalte vertexuri nu afectează geometria acestuia. Altfel zis, modificarea poziției unui vertex de control influențează doar configurația celor 16 petece de suprafață vecine acestuia, restul suprafeței păstrându-și geometria neschimbată (fig. 1.5).

1.1.1.3. Suprafețele NURBS

Ecuția suprafețelor NURBS are următoarea formă [Lee-99, Prautzsch-02]:

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} P_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)} \quad (s_{k-1} \leq u \leq s_{n+1}, \quad t_{l-1} \leq v \leq t_{m+1}) \quad (1-5)$$

unde $P_{i,j}$ reprezintă coordonatele x , y și z , iar $h_{i,j}$ coordonatele omogene ale vertexurilor de control.

Generarea suprafețelor NURBS are la bază patru curbe spațiale care se intersectează două câte două la capete. Aceste suprafețe vor constitui suportul modelării pieselor ce urmează a fi prelucrate prin frezare sau strunjire în cadrul acestei teze de abilitare,

datorită faptului că au cea mai mare flexibilitate, atât în ceea ce privește generarea lor cât și în posibilitatea realizării de modificări ulterioare.

1.1.2. Programarea asistată de calculator a MUCN -urilor

Programarea asistată a MUCN presupune codificarea informațiilor preluate din faza CAD, în cadrul căreia s-a obținut modelul tridimensional al piesei, într-un format care să poată fi citit și executat de către procesorul MUCN [Kief-13, Overby-11, Fitzpatrick-18, Knight-05]. Totalitatea acestor informații codificate reprezintă programul CN al mașinii, care este compus din toate comenzile pe care trebuie să le execute MUCN pentru obținerea piesei finite, sau pentru prelucrarea parțială a acesteia, dacă prelucrarea presupune mai multe prinderi ale piesei pe masa mașinii.

Pentru proiectarea tuturor sistemelor CAD/CAM originale, dedicate realizării unor prelucrări de frezare sau de strunjire, autorul a folosit un pachet software destinat doar proiectării: AutoCAD.

Așa cum a fost menționat anterior, în cadrul tezei de doctorat a fost conceput un sistem CAD/CAM destinat prelucrării suprafețelor spațiale, prin frezare. Ulterior, acest sistem a fost dezvoltat prin adăugarea de noi module care să permită:

- fabricarea pieselor și pe MUCN-uri în 3 axe [Lancea-14, Lancea-04a, Lancea-04b, Lancea-03b, CNCSIS-03];
- prelucrarea buzunarelor [Lancea-05b];
- prelucrarea canalelor [Lancea-13];
- prelucrarea unor suprafețe din domeniul stomatologic [Lancea-11].

În paralel a fost conceput și un pachet software de strunjire CN, destinat prelucrării pieselor de tip fitting [Lancea-09, Ivan-05].

Pentru generarea programului CN al prelucrărilor de frezare sau strunjire, amintite mai sus, au fost parcurși urătorii pași:

- identificarea informațiilor necesare pentru generarea automată a programului CN;
- proiectarea unei interfețe pentru preluarea și verificarea datelor de intrare;

- codificarea informațiilor în scopul utilizării lor ulterioare pentru eventuale calcule, sortări, editări etc.
- definirea de noi comenzi dedicate unor acțiuni concrete care să funcționeze în regim semiautomat;
- proiectarea unei modalități rapide de atenționare a utilizatorului atunci când datele introduse sunt eronate și oferirea posibilității de corectare a greșelilor în timp real;
- generarea automată a programului CN;
- verificarea corectitudinii programului CN prin simularea tuturor fazelor de prelucrare aferente prelucrării piesei;
- memorarea programului CN într-un format compatibil cu procesorul MUCN;
- proiectarea unor noi instrumente care să permită salvarea tuturor datelor de proiectare și mașinare de oricâte ori este necesar.

Sistemul CAD/CAM proiectat de autor (Fig. 1.6) este realizat prin programare în limbajele VisualLISP și DCL. Acesta este destinat prelucrărilor CN prin strunjire sau frezare și este compus din două module:

- **modulul CAD** – destinat proiectării geometriei piesei, compus din trei grupuri distincte de funcții:
 - funcții pentru modelarea 3D, parametrizată, a entităților ce urmează a fi prelucrate;
 - funcții destinate modificării entităților proiectate;
 - funcții concepute pentru verificarea modelului.
- **modulul CAM** – destinat proiectării fabricației piesei, este compus tot din trei grupuri de funcții:
 - funcții consacrate alegerii semifabricatului;
 - funcții destinate definirii parametrilor de lucru ai mașinii-unelte;
 - funcții pentru alegerea sculei așchietoare și pentru definirea parametrilor de lucru ai acesteia.

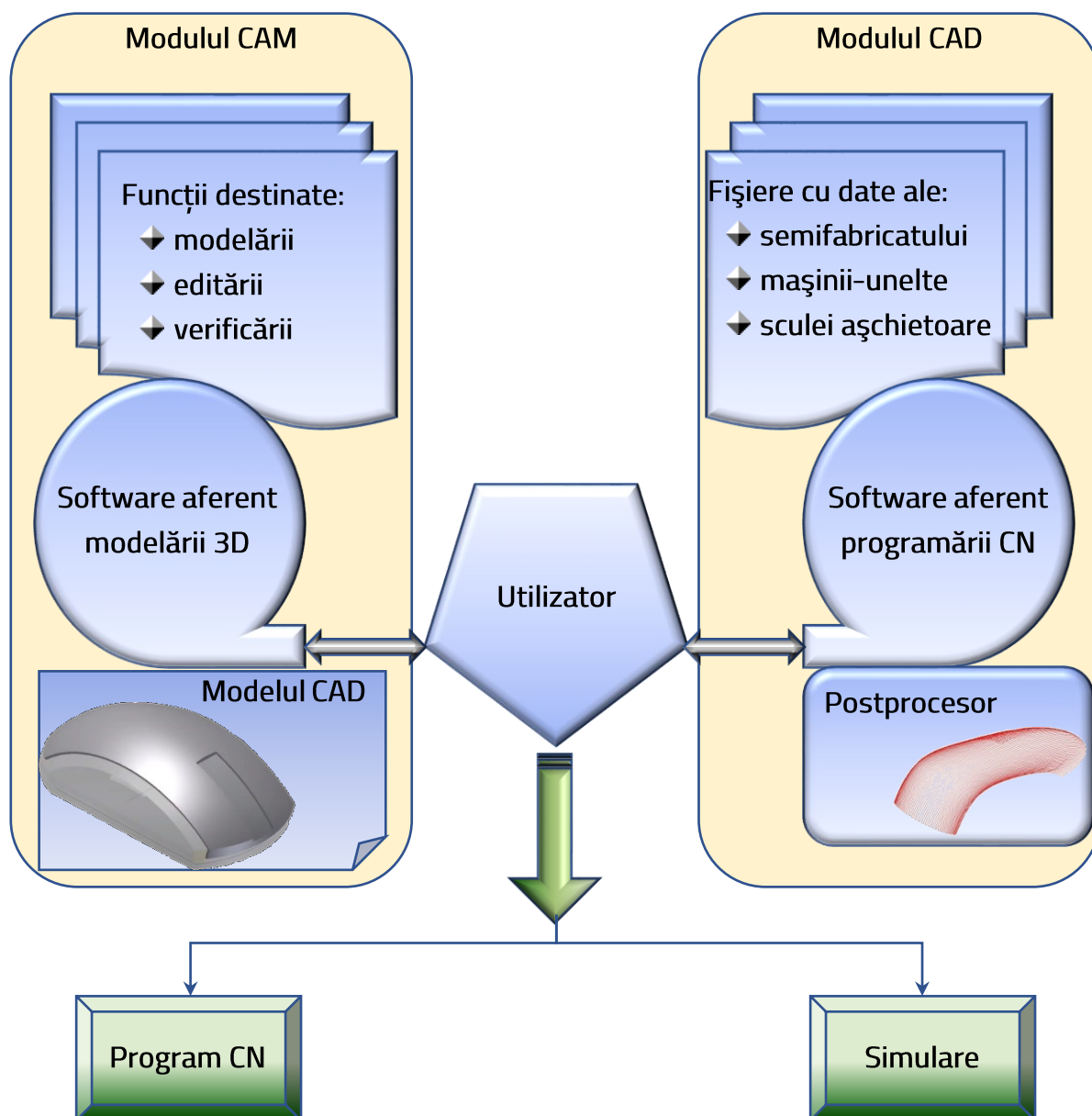


Fig. 1.6 Structura sistemului CAD/CAM

1.1.2.1. Modalități de conducere numerică și tipuri de MUCN-uri

La mașinile de frezat convenționale, mișcarea de avans poate fi realizată doar de-a lungul uneia dintre cele trei direcții disponibile (două direcții în planul orizontal, de-a lungul axelor X și Y și o direcție perpendiculară pe cele două, de-a lungul axei Z). Deplasarea în planul orizontal este realizată de masa mașinii iar deplasarea pe verticală se face prin intermediul arborelui principal al mașinii. Combinând aceste mișcări cu mișcarea de rotație a arborelui principal, se realizează prelucrarea semifabricatului.

În cazul MUCN –urilor, în funcție de direcțiile de deplasare ale sculei așchietoare sau ale mesei mașinii [Ivan-01], MUCN-urile pot fi:

- MUCN-uri cu comenzi de poziționare (sau cu comenzi punct cu punct);
- MUCN-uri cu comenzi de prelucrare liniară (comenzi paraxiale);
- MUCN-uri cu comenzi de conturare.

Conducerea numerică de poziționare permite realizarea unor deplasări, controlate numeric, ale sculei așchietoare în punctele memorate prin intermediul programului CN. Mașinile-unelte care funcționează pe acest principiu sunt MUCN-urile de găurit, de filetat de alezat, de ștanțat etc. În acest caz prelucrarea are loc de obicei de-a lungul axei verticale a mașinii. O caracteristică a acestui tip de MUCN-uri este aceea că scula nu așchiază în plan orizontal, deplasarea realizându-se exclusiv pentru poziționarea sculei. Optimizarea traiectoriei este importantă doar pentru optimizarea timpilor de fabricație.

În cazul *conducerii numerice paraxiale*, scula așchietoare se deplasează de-a lungul unor direcții paralele cu axele mașinii-unelte, sau de-a lungul unor direcții înclinate (cu unghiuri calculate în prealabil) față de acestea. La acest tip de mașini-unelte scula așchiază și în timpul deplasării de-a lungul acestor axe dar sunt din ce în ce mai rar folosite deoarece MUCN-urile de conturare pot realiza mult mai ușor aceste deplasări.

Conducerea numerică de conturare este folosită pe scară din ce în ce mai largă în principal datorită unui mare avantaj pe care aceasta îl conferă și anume posibilitatea de a dezvolta mișcări relative între sculă și piesă simultan pe două sau mai multe axe. În acest fel devine posibilă prelucrarea suprafețelor 3D prin frezare sau prin strunjire dintr-o singură prindere a piesei. Echipamentul care coordonează toate mișcărilor realizate de către MUCN este interpolatorul, prin intermediul căruia toate suprafețele generate se obțin în urma unei interpolări, care poate realiza:

- folosind modele matematice simple pentru:
 - deplasări liniare;
 - deplasări circulare;
 - deplasări de-a lungul unei direcții spirale (în cazul frezării suprafețelor cilindrice, a filetelor etc.);

pe lângă acestea, interpolarea se poate realiza și folosind modele matematice complexe:

- interpolări parabolice sau eliptice;
- interpolări realizate de-a lungul unor curbe complexe descrise de funcții cu gradele 3, 4 sau mai mari;
- interpolări definite printr-un număr finit de puncte

Plecând de la cele prezentate mai sus, MUCN-urile pot fi în două axe, până la șase axe, în funcție de numărul direcțiilor de-a lungul cărora pot fi efectuate deplasări simultane (prin intermediul arborelui principal) și în jurul cărora pot fi realizate deplasări simultane (prin rotirea sculei sau a mesei mașinii în jurul celor trei axe de translație).

Cercetările prezentate în prima parte a acestei teze de abilitare fac referire doar la mașinile în două axe (strunguri CN), în două axe și jumătate, respectiv în trei axe (freze CN), care au și cea mai mare pondere de utilizare, în industrie, la momentul actual.

1.1.2.2. Programul CN

Programul CN conceput pentru sistemul CAD/CAM realizat de autor este compus dintr-o succesiune de instrucțiuni codificate ce sunt transmise echipamentului CN al mașinii-unelte în scopul prelucrării pieselor. Prin intermediul lui sunt transmise MUCN trei tipuri de informații:

- informații tehnologice – privind tipul sculei așchietoare folosite, dimensiunile acesteia, parametrii regimului de așchiere etc.;
- informații auxiliare – ce vizează pornirea sau oprirea fluidului de răcire-ungere, a arborelui principal al mașinii, informații privind dispozitivele folosite etc.
- informații geometrice – referitoare la traseul sculei așchietoare, la tipul de interpolare folosit etc.;

Modalitatea de programare a mașinii constă, de fapt, într-o automatizare a modului MDI (Manual Data Input) în care poate fi programată orice MUCN, cu deosebirea că acționarea comenzilor pentru: pornirea sau oprirea turației arborelui, a lichidului de răcire-ungere, schimbarea sculei, introducerea valorii avansului de lucru, a comenzilor de deplasare a

sculei etc., nu se realizează prin acționarea butoanelor amplasate pe panoul de comandă al mașinii ci sunt automatizate în urma codificării lor în programul CN.

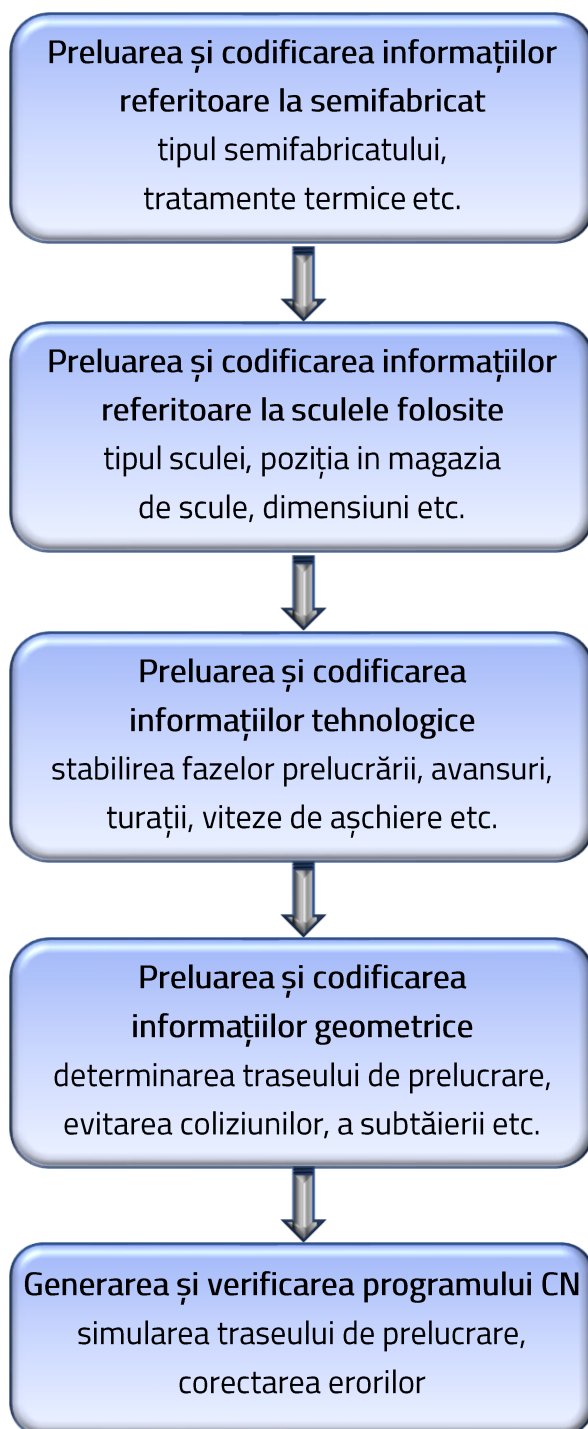


Fig. 1.7 Etapele proiectării programului CN

Având în vedere faptul că piesele prelucrate trebuie să corespundă atât din punct de vedere dimensional (prin respectarea cotelor) cât și din punct de vedere al preciziei de

prelucrare (prin respectarea abaterilor și toleranțelor, conform desenului de execuție), la proiectarea programului CN (Fig. 1.7) trebuie să se țină cont și de următoarele aspecte:

- tipul semifabricatului: turnat, laminat, prelucrat prin așchiere etc.
- existența sau nu a unui tratament termic prealabil;
- calitatea suprafețelor,
- precizia de execuție: toleranțe, abateri de formă sau de poziție etc.

1.1.3. Sistemul FASC-2003 destinat frezării CN în 3 axe [Lancea-14, Lancea-04a, Lancea-04b, Lancea-03b]

Extinderea sistemului CAD/CAM FASC-2000 de la MUCN-urile de frezat în $2\frac{1}{2}$ axe la cele în 3 axe a necesitat crearea unui nou modul CAM care să calculeze un traseu de frezare compus exclusiv din puncte spațiale (definite prin 3 coordonate), spre deosebire de varianta inițială în care punctele traseului de frezare erau coplanare, situate în plane paralele. Astfel, pentru prelucrarea suprafeței pe MUCN-uri de frezat în $2\frac{1}{2}$ axe traseul sculei așchietoare era compus în exclusivitate din curbe plane, echidistante și situate în plane paralele (Fig. 1.8 -a). În acest caz și precizia de execuție era mai mică deoarece aceste puncte erau determinate în urma unor calcule.

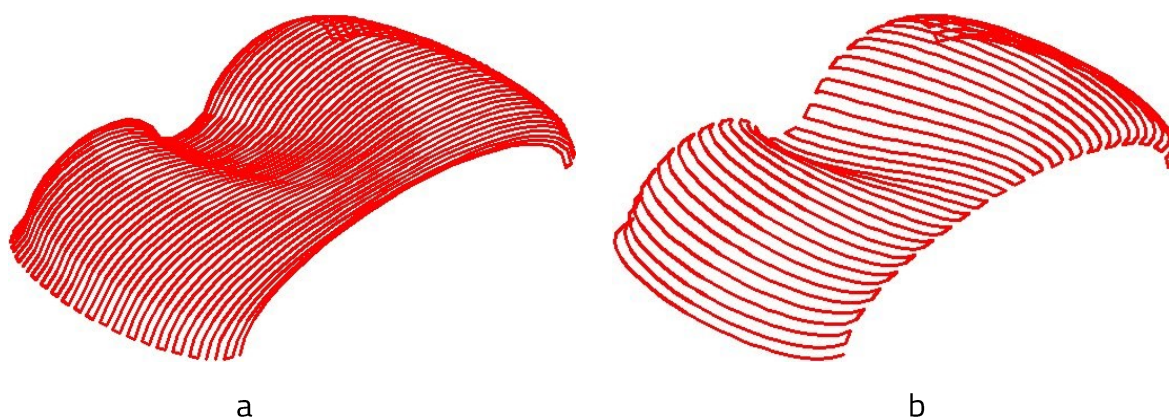


Fig. 1.8 Traseul sculei așchietoare pentru frezare pe MUCN-uri:
în $2\frac{1}{2}$ axe -a și în 3 axe -b

La frezarea pe MUCN-uri de frezat în 3 axe punctele preluate din faza CAD sunt sortate astfel încât să se obțină un traseu de prelucrare spațial în care suprafața este parcursă de

la un capăt la altul, pe o direcție transversală sau longitudinală (Fig. 1.8 -b). De-a lungul acestui traseu scula așchietoare va avea o viteză constantă.

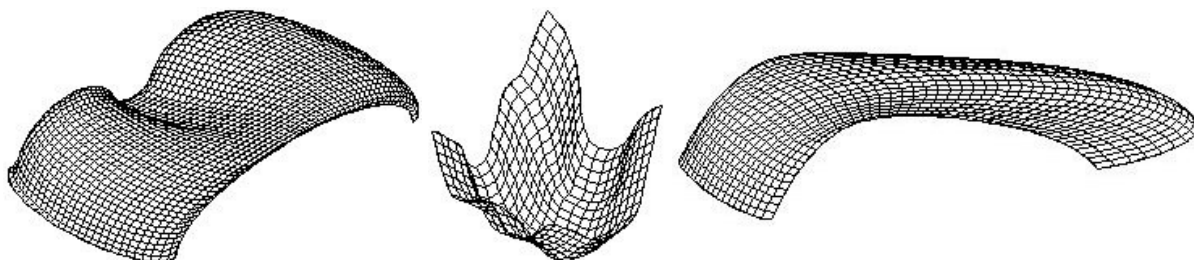


Fig. 1.9 Tipuri de suprafețe complexe

În prezent, pentru fabricarea suprafețelor spațiale complexe (fig. 1.9), în majoritatea cazurilor, sunt folosite mașinile de frezat CNC. O etapă importantă în ceea ce privește pregătirea fabricației o constituie alegerea sculei așchietoare. În acest sens, după operația de degroșare, în cadrul căreia ponderea cea mai mare o au frezele cilindro-frontale (fig. 1.10 -a) (imaginile au fost preluate din cataloage de scule Klingspor, Hikoki sau Sellcom), urmează frezarea de finisare unde frezele cu cap sferic (fig. 1.10 -b) reprezintă varianta cea mai avantajoasă, datorită posibilității lor de a genera o mare varietate de geometrii.



Fig. 1.10 Tipuri de freze cilindrice -a și cilindro-frontale -b

Alegerea diametrului frezei este o problemă destul de dificilă cu care se confruntă inginerii tehnologi, datorită geometriei spațiale a piesei. În acest sens, sistemul CAD/CAM FASC-2003 oferă o soluție rapidă și precisă pentru alegerea diametrului optim al sculei.

Din motive de omogenitate, pentru toate versiunile sistemului FASC-2000, ce au fost completate după anul 2003, se va păstra aceeași denumire: FASC-2003, chiar dacă în articolele în care au fost publicate s-au folosit alte denumiri, în funcție de anul apariției lor.

1.1.3.1. Tipuri de suprafețe utilizate

Pachetul software-ul a fost dezvoltat în limbajele Visual LISP și DCL, putând fi utilizat pentru fabricarea oricăror suprafețe 3D proiectate în AutoCAD, cu ajutorul comenzii *edgesurf*.

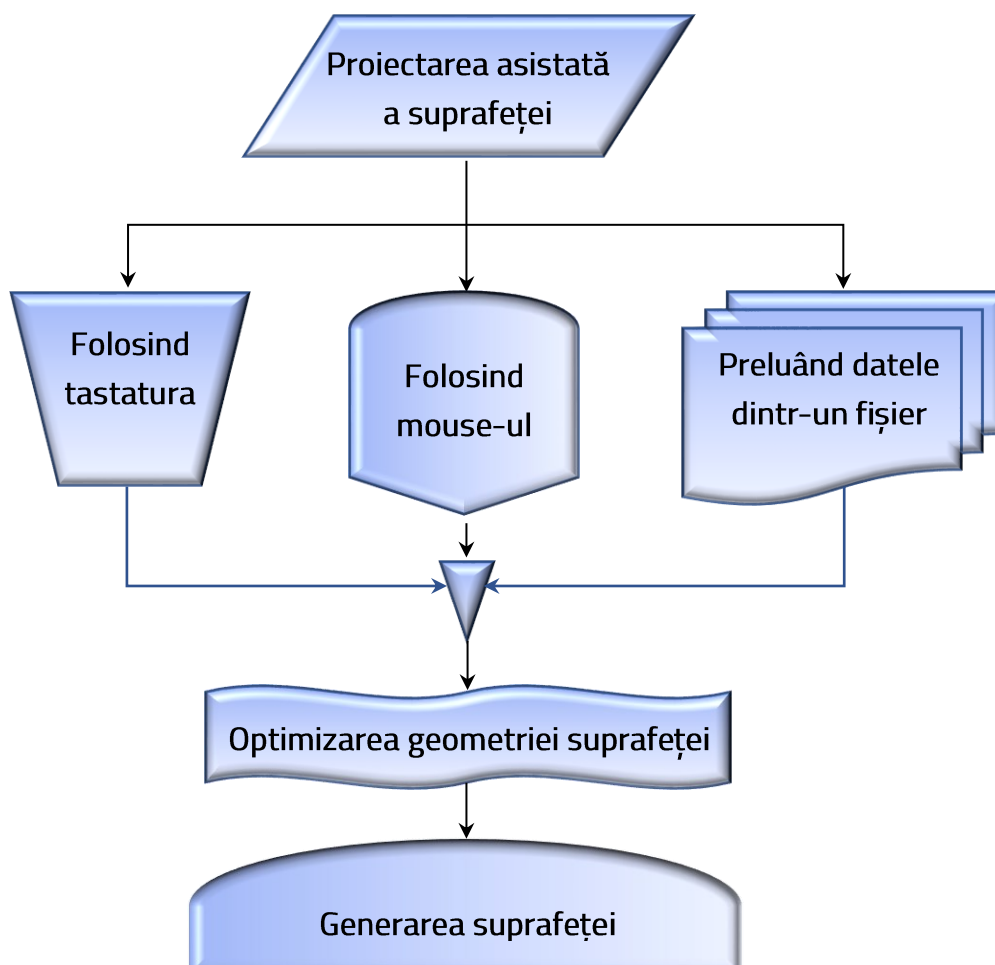


Fig. 1.11 Proiectarea suprafețelor

Cele trei modalități de proiectare a suprafețelor, pe care le oferă acest sistem CAD/CAM, sunt prezentate schematic în figura 1.11.

Planele în care se vor construi cele patru curbe, utilizate pentru definirea granițelor și a geometriei spațiale a suprafeței 3D, pot avea orientări aleatorii. Pentru evitarea apariției fețelor poligonale, fiecare curbă va fi generată în urma unei interpolări printre punctele ce o definesc (Fig. 1.12).

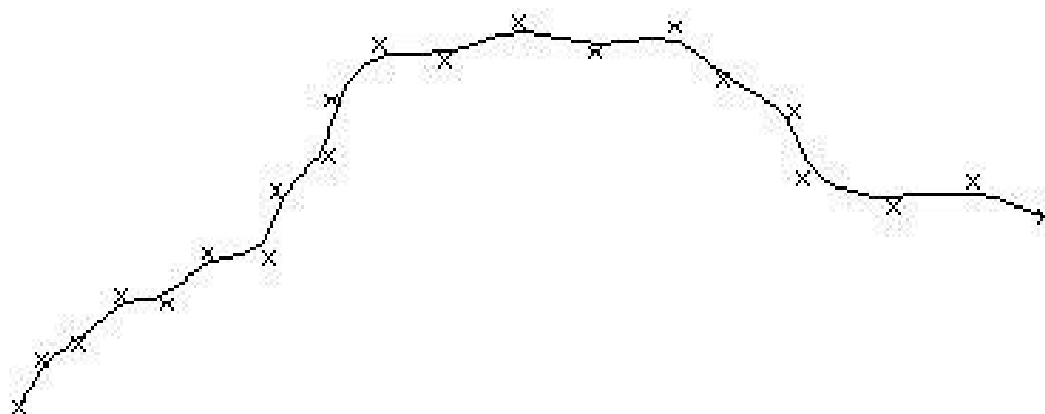


Fig. 1.12 Generarea curbelor prin interpolare

Introducerea acestor puncte în sistem se poate face în două moduri diferite:

- punct cu punct:
 - prin intermediul tastaturii, indicând cele trei coordonate spațiale;
 - folosind mouse-ul, definirea punctelor făcându-se în mod dinamic, pe display;
- introducerea automată a punctelor conținute de cele patru curbe:
 - prin citirea coordonatelor acestora dintr-un fișier text

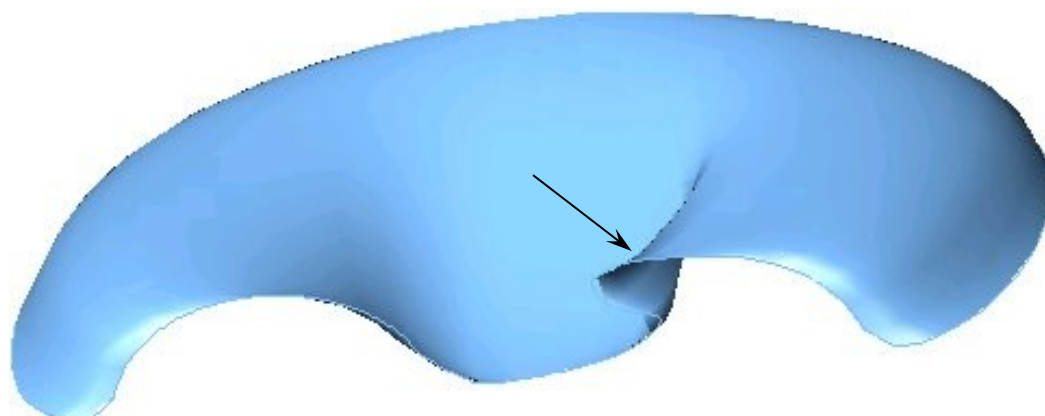


Fig. 1.13 Suprafață incompatibilă cu prelucrarea în 3 axe

După ce a fost proiectată suprafața, cu ajutorul modulului CAD, se verifică dacă este posibilă prelucrarea ei, cu ajutorul mașinilor de frezat NC în 3 axe. Pentru suprafețe incompatibile (Fig. 1.13), programul afișează mesaje de eroare și recomandă modificări ale zonelor cu probleme.

1.1.3.2. Determinarea razei optime a sculei

Dacă nu sunt identificate erori în urma verificării suprafeței proiectate, aceasta va fi secționată cu un fascicul de plane paralele, în scopul determinării razei minime de curbura. În acest sens, fiecare curbă de secțiune va fi divizată cu ajutorul un număr de puncte, stabilit în funcție de precizia de execuție ce se dorește a fi obținută (Fig. 1.14 -a).

În urma divizării curbelor se vor forma seturi a câte trei puncte consecutive, pentru fiecare curbă în parte. Prin aceste puncte vor fi construite apoi toate cercurile ce au centrul amplasat în exteriorul suprafeței de prelucrat (Fig. 1.14 -c), urmând a fi reținute doar diametrele ce nu depășesc diametrul maxim standardizat al frezei.

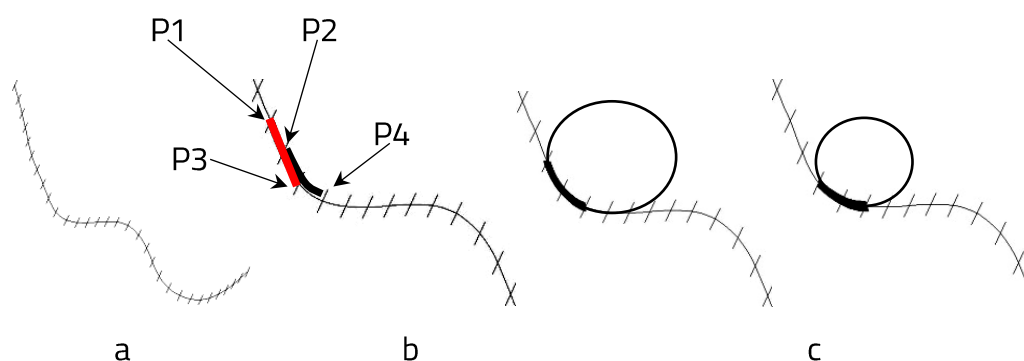


Fig. 1.14 Etapele determinării razei minime de curbura a suprafeței:
curba de analizat -a; eliminarea punctelor coliniare -b;
construirea cercurilor prin puncte succesive -c

Pe măsură ce sunt construite, aceste cercuri vor fi comparate între ele în vederea determinării cercului cu cel mai mic diametru. Diametrul acestui cerc va fi apoi utilizat pentru alegerea diametrului standardizat al frezei, care trebuie să fie mai mic decât diametrul minim calculat. În cazul în care se constată că cele trei puncte succesive P1, P2 și P3 sunt coliniare (Fig. 1.14 -b) sau dacă centrul cercului este situat în interiorul

suprafeței de prelucrat, primul dintre aceste puncte va fi eliminat din set iar noul set de trei puncte va fi completat cu următorul punct P_4 , al curbei.

1.1.3.3. Determinarea traseelor de prelucrare

În funcție de numărul prelucrărilor alese, sistemul poate genera trei trasee intermediare de prelucrare, după cum urmează:

- traseul pentru operația de degroșare;
- traseul pentru operația de semifinisare;
- traseul pentru operația de finisare;

Traseele de prelucrare intermediare se obțin în urma construirii unor noi suprafețe, denumite suprafețe de degroșare sau suprafețe de semifinisare (Fig. 1.15). Pentru generarea acestor suprafețe sunt utilizate datele de intrare ale suprafeței proiectate inițial (suprafața de finisare) dar sunt mărite razele de curbura ale acesteia.

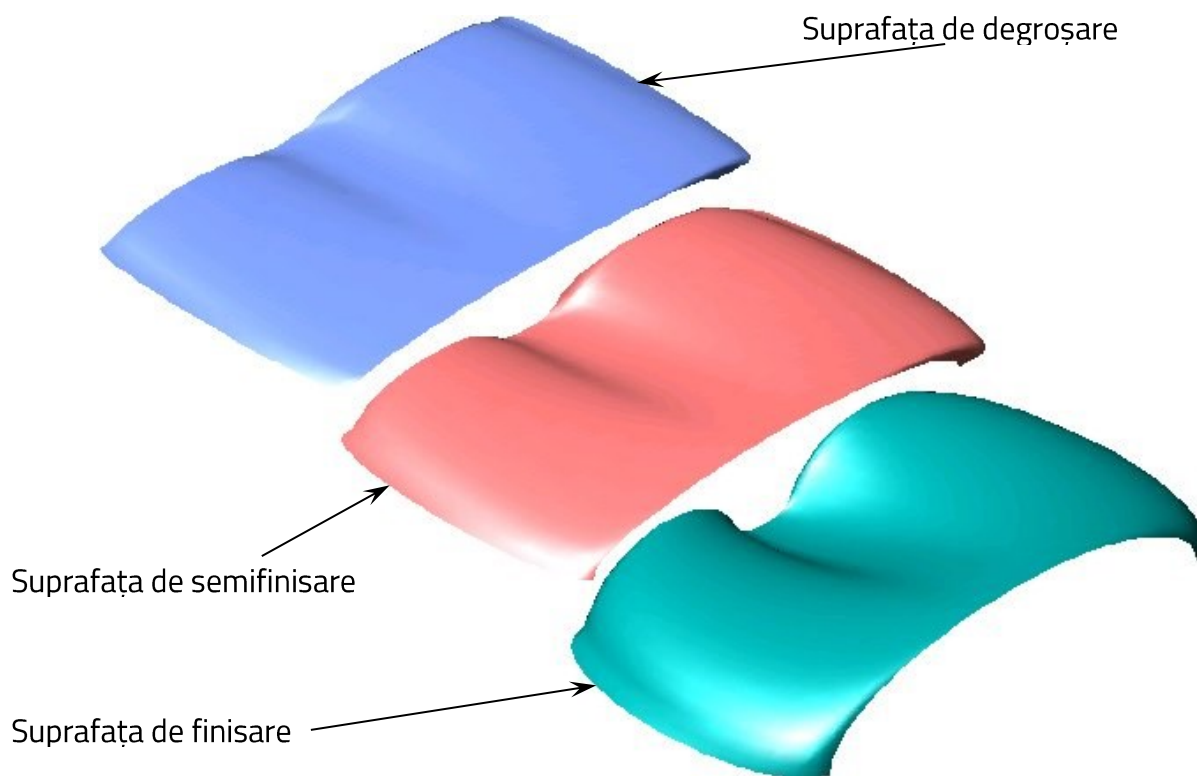


Fig. 1.15 Suprafețele intermediare

Traseele de frezare pot fi grupate în funcție de complexitatea geometrică a piesei sau de tipul semifabricatului astfel (fig. 1.16):

- exclusiv pentru prelucrări de degroșare;
- pentru prelucrări de degroșare și semifinisare;
- pentru prelucrări de semifinisare și finisare;
- pentru prelucrări de degroșare, semifinisare și finisare;

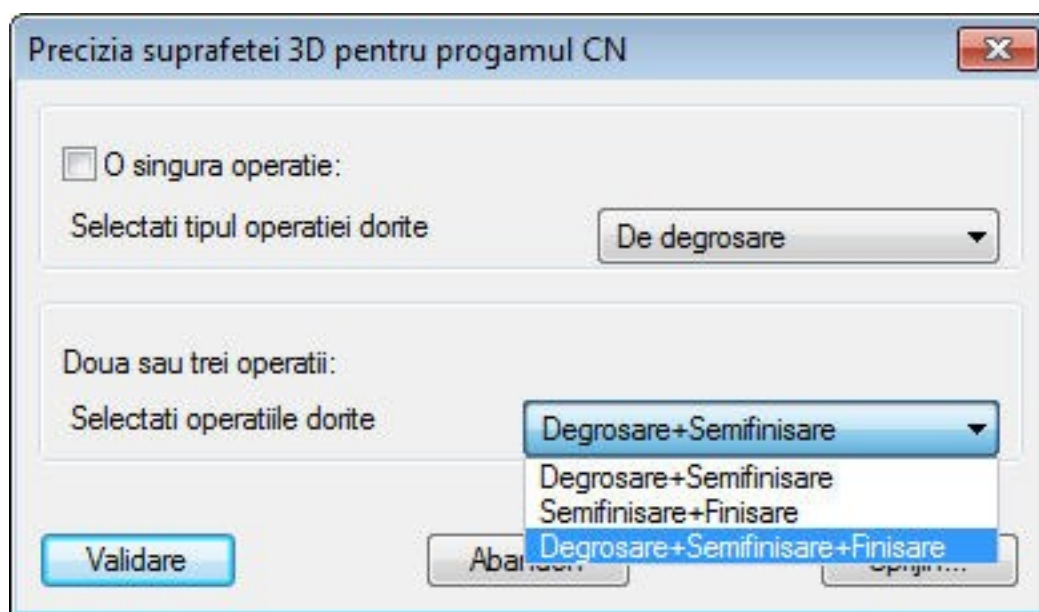


Fig. 1.16 Generarea curbelor prin interpolare

Sensul de prelucrare este indicat de către utilizator și poate fi ales transversal (Fig. 1.17), sau longitudinal (Fig. 1.18), pentru oricare dintre operațiile disponibile. Așa cum s-a menționat anterior, aceste trasee de prelucrare sunt determinate acum pentru frezele CN în 3 axe.

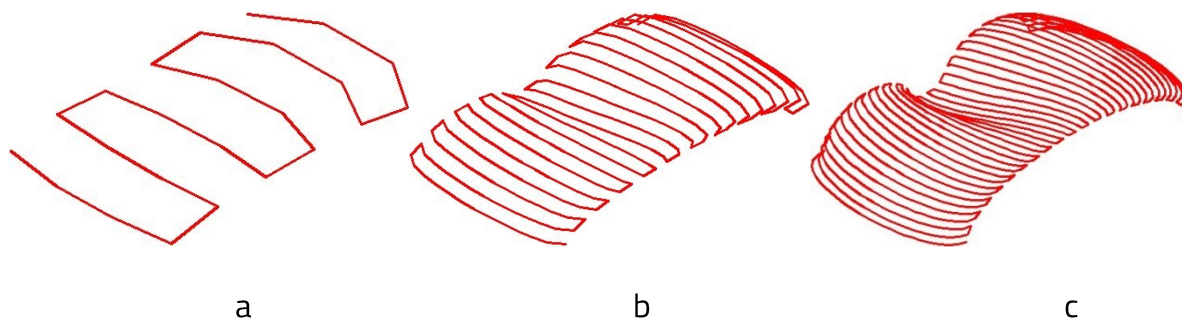


Fig. 1.17 Trasee de prelucrare transversale pentru operații de: degroșare –a; semifinisare –b și finisare –c



Fig. 1.18 Trasee de prelucrare longitudinale pentru operații de:
degroșare –a; semifinisare –b și finisare –c

O reprezentare, care evidențiază diferențele dintre traseul generat anterior, pentru MUCN-uri în $2\frac{1}{2}$ axe, comparativ cu unul generat pentru mașini în 3 axe, se poate observa cel mai bine într-o vedere de sus (Fig. 1.19). Astfel se poate observa că, în primul caz, curba de secțiune, de-a lungul căreia se face prelucrarea, este o curbă plană, iar în cel de-al doilea caz aceasta este spațială.



Fig. 1.19 Traseu generat pentru MUCN-uri în $2\frac{1}{2}$ axe –a și în 3 axe –b

1.1.3.4. Interfața sistemului FASC-2003

Interfața sistemului FASC-2003, a fost completată cu noile module create. Fiecare meniu (Fig. 1.20) conține comenzi care pot fi utilizate pentru rezolvarea unor probleme precum: lucrul cu fișiere, modelarea geometrică, proiectarea fabricației, simularea traseului de frezare sau un meniu cu explicații suplimentare de tip *help*.



Fig. 1.20 Interfața sistemului FASC-2003

Deoarece modulul CAM al sistemului FASC-2003 a suferit modificări doar în privința punctelor preluate din modulul CAD (care au acum 3 coordonate), nu va mai fi prezentat.

1.1.3.5. Modulul destinat prelucrării buzunarelor [Lancea-05b]

Complexitatea formei buzunarelor prelucrate prin frezare este dată de tipul curbei, sau a curbelor, folosite pentru construirea geometriei lor. Astfel, cu cât complexitatea și diversitatea curbelor utilizate pentru definirea formei buzunarului este mai mare, cu atât și complexitatea acestuia crește.

Pentru a avea o libertate mare de modelare, acest modul acceptă, pentru generarea conturului buzunarului, entități de tip linie, cerc sau arce de cerc, elipsă sau arce de elipsă, curbe de tip spline sau curbe NURBS. Numărul entităților folosite pentru definirea buzunarului nu este limitat, însă profilul generat trebuie să fie închis.

Pentru proiectarea buzunarelor și pentru obținerea fișierului de conducere numerică, destinat prelucrării lor pe MUCN-uri în 3 axe, se va utiliza modulul de frezare a buzunarelor, din cadrul sistemului FASC-2003.

Definirea buzunarului

În cele ce urmează, va fi prezentat un studiu de caz pentru fabricarea unui buzunar, folosind software-ul original FASC-2003. Conturul buzunarului reprezintă o curbă compusă din linii, arce de cerc și curbe spline (Fig. 1.21).

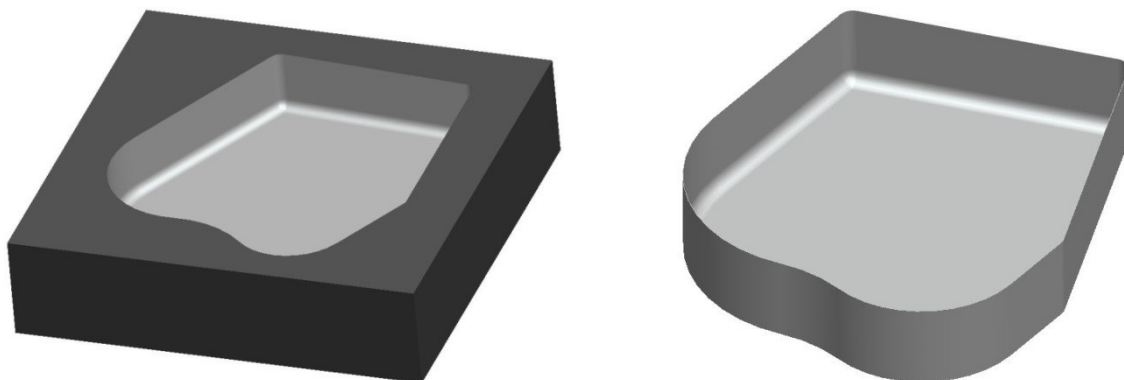


Fig. 1.21 Geometria spațială a buzunarului

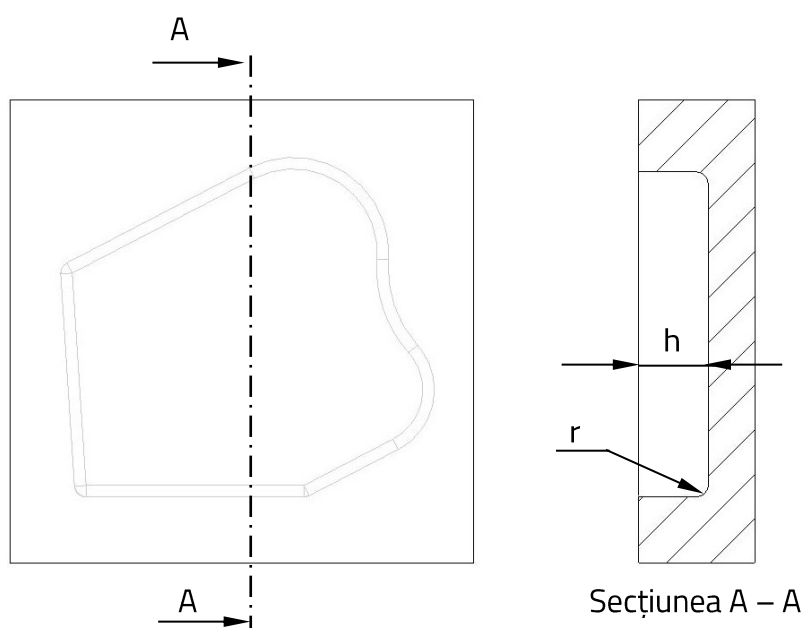


Fig. 1.22 Buzunarul prelucrat: vedere de sus și în secțiune

Pentru determinarea traseului de frezare, este foarte important să fie modelat corect conturul buzunarului, utilizând pentru aceasta oricare dintre entitățile prezentate mai sus. În figura 1.22 sunt prezentate o vedere de sus și o secțiune transversală a buzunarului, în care se pot observa cotele ce trebuie introduse după proiectarea geometrică a conturului.

Interfața modului de prelucrare a buzunarelor

Interfața stemului FASC-2003 a fost completată cu o nouă comandă, denumită *Frezare buzunare*, ce a fost amplasată în meniul *Calculare regim* (Fig. 1.23).



Fig. 1.23 Apelarea comenzii *Frezare buzunare*

După definirea geometriei buzunarului și apelarea comenzii *Frezare buzunare*, din meniul principal, se va afișa o fereastră de dialog (Fig. 1.24) destinată introducerii următoarelor

cote: raza la vârf a frezei cilindro-frontale, adâncimea buzunarului (Fig. 1.22 -b) și raza de racordare de la baza buzunarului, ce va fi prelucrată ulterior, cu o freză cu cap sferic.

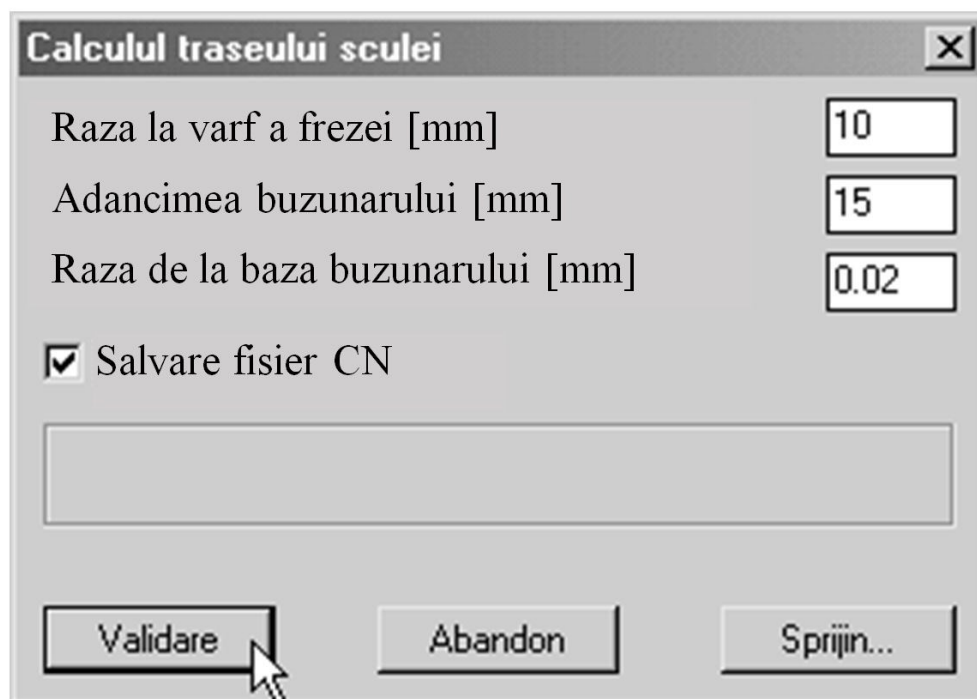


Fig. 1.24 Fereastra de dialog pentru traseul sculei

Dacă nu este necesară racordarea bazei buzunarului, se va lăsa valoarea implicită a acestei raze, de 0,02 mm (Fig. 1.24). În acest caz, după prelucrarea buzunarului cu freza cilindro-frontală, nu va mai urma o prelucrare cu freza cu cap sferic.

Atunci când se dorește salvarea fișierului de conducere numerică într-o altă locație decât cea implicită, se poate selecta opțiunea *Salvare fișier CN*, urmată de indicarea numelui fișierului, a suportului de memorie folosit și a locației (Fig. 1.24).

Calculul traseului de frezare

După terminarea procesului de introducere a datelor, următorul pas îl constituie determinarea traseului frezei cilindro-frontale utilizate la prelucrarea buzunarului. Pentru a obține un traseu optimizat, sistemul FASC-2003 preia geometria buzunarului și generează încă două canale identice cu conturul buzunarului, dar construite la o scară mai mică, utilizând comanda *offset*.

În urma acestei operații, rezultă trei canale (Fig. 1.25), după cum urmează:

- *conturul exterior* – numerotat în figură cu 1: reprezintă conturul buzunarului de prelucrat (ce a fost modelat anterior);
- *conturul intermediar* – numerotat în figură cu 2: reprezintă conturul de-a lungul căruia se va deplasa freza pentru prelucrarea conturului exterior (distanța d_2 dintre conturul 1 și conturul 2 fiind egală cu raza frezei);
- *conturul interior* – numerotat în figură cu 3: materializează lățimea prelucrată în urma deplasării frezei de-a lungul conturului 2.

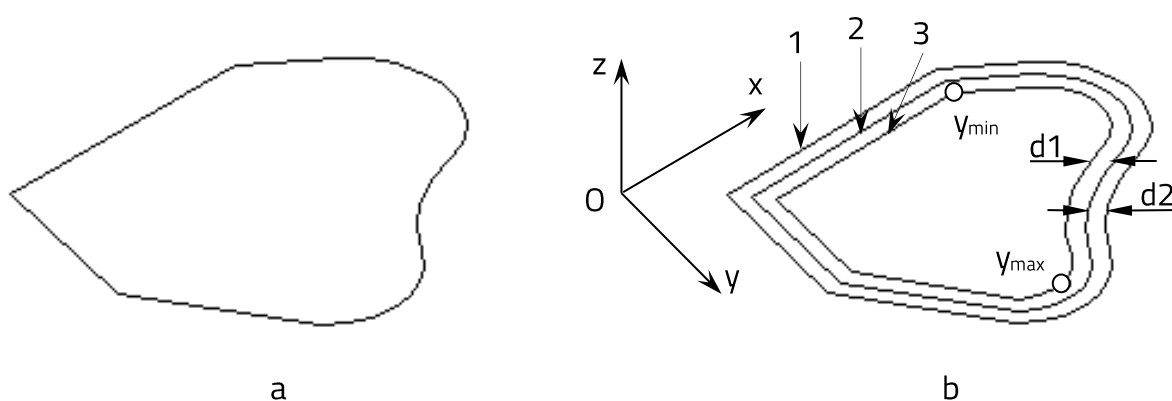


Fig. 1.25 Conturul inițial –a și canalele intermediare –b

Generarea traseului frezei cilindro-frontale, pentru prelucrarea concavității, se realizează în mai multe etape, pornind de la conturul interior:

- în prima etapă este stabilită o direcție principală de frezare, în cazul de față, direcția OX (Fig. 1.25 -b);
- cea de-a doua etapă constă în analiza tuturor punctelor ce compun conturul în vederea determinării extremităților acestuia, de-a lungul unei direcții perpendiculare pe direcția principală de frezare: y_{\min} și y_{\max} (Fig. 1.25 -b);
- în etapa a treia este generat un fascicul de plane paralele, orientate de-a lungul direcției principale de frezare. Aceste plane vor fi generate numai între cele două extremități y_{\min} și y_{\max} , ce au fost determinate în etapa precedentă (Fig. 1.26 -a).
- ultima etapă constă în proiectarea traseului de frezare a întregii concavități, compus din urmele planelor paralele și conturul interior al acestuia.

După obținerea tuturor elementelor, prezentate în etapele de mai sus, va fi calculat traseul de prelucrare a buzunarului. Prelucrarea buzunarului va presupune o frezare plană, urmată de o frezare de conturare. Entitățile folosite pentru generarea traseului de prelucrare, sunt:

- *urmele planelor paralele situate în conturul interior;*
- *conturul interior al buzunarului.*

Pentru prelucrarea buzunarului, freza se va deplasa de-a lungul urmelor planelor paralele, pe care le va parcurge succesiv, iar trecerea de la un plan la următorul se va face de-a lungul unui fragment al profilului interior (Fig. 1.26 -b). În final se va face o conturare de-a lungul traseului intermediar. Pentru a rezulta o suprafață plană, distanța dintre planele paralele (care este, de fapt, distanța dintre două urme succesive ale deplasării frezei) a fost calculată ca fiind diferența dintre diametrul frezei și dublul razei la vârf al acesteia, din care se scad încă 3 mm.

Teoretic, pentru determinarea distanței dintre planele paralele era suficient să se scadă dublul razei la vârf al frezei, din diametrul acesteia, însă a fost aleasă o valoare puțin mai mică, pentru evitarea apariției unor zgârieturi pe suprafața orizontală a buzunarului, datorate uzurii frezei.

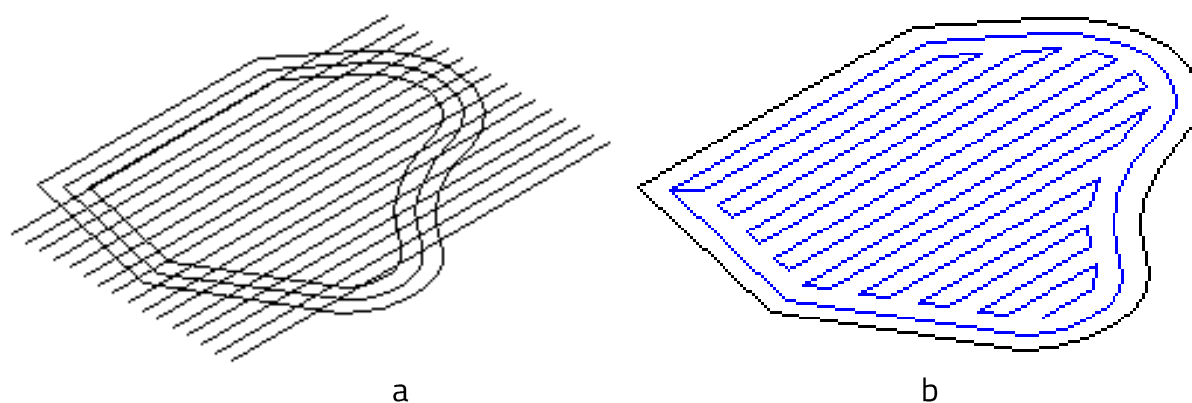


Fig. 1.26 Etapele construirii traseului de frezare: generarea unui fascicul de plane paralele cu direcția principală de prelucrare –a și obținerea traseului final -b

Concret, prelucrarea buzunarului va fi realizată în mai multe etape (Fig. 1.27):

- după obținerea traseului de prelucrare, este analizată posibilitatea îndepărtării adaosului de prelucrare dintr-o singură trecere sau dacă este necesară împărțirea acestuia în mai multe trepte;
- dacă prelucrarea se face dintr-o singură trecere, scula așchietoare va coborî în plan vertical cu valoarea adaosului de prelucrare și va efectua mai întâi o frezare plană (Fig. 1.27 -a), urmată de o frezare de conturare, realizată în același plan, de-a lungul conturului intermediar 2 (Fig. 1.25 -b);
- dacă prelucrarea presupune mai multe treceri, după cele două prelucrări plane, descrie mai sus, urmează o deplasare pe verticală a frezei, egală cu valoarea adâncimii de așchiere. În continuare, se reia ciclul de prelucrare după același traseu plan, până când este îndepărtat tot adaosul de prelucrare (Fig. 1.27 -c);

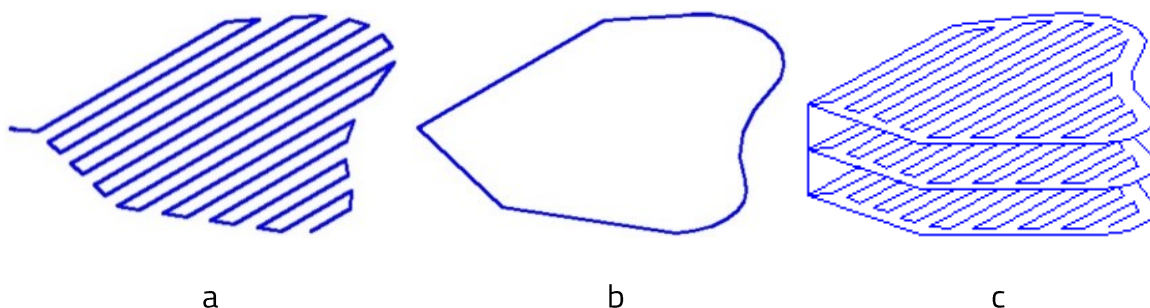


Fig. 1.27 Traseul de prelucrare: frezare plana –a; frezare de conturare –b și reluarea ciclului de prelucrare, după o incrementare pe verticală (dacă este cazul) -c

1.1.3.6. Modulul destinat prelucrării canalelor cu contur închis [Lancea-13];

Acest modul al sistemului FASC-2003, realizat tot cu ajutorul pachetului software AutoCAD, dublat de limbajele de programare ale acestuia: VisualLisp și DCL, permite prelucrarea CNC a unor canale plane închise. Prelucrarea acestor entități se realizează prin frezare, iar sculele așchietoare folosite pot fi frezele cilindro-frontale sau frezele cu cap sferic.

Modulul oferă facilități atât în faza de proiectare a canalelor cât și în faza de fabricație a acestora, printr-o semiautomatizare a celor două procese. Aceste facilități sunt

disponibile atât pentru formele geometrice predefinite, ce pot fi încărcate direct din baza de date a modulului, cât și pentru profile noi, definite de către utilizator.

Modulul oferă o serie de avantaje ce vizează, în primul rând, micșorarea substanțială a timpilor de proiectare și de fabricație a canalelor, prin aceea că:

- proiectarea profilelor cu geometrii regulate este mult simplificată datorită existenței unei baze de date proprii, compusă din cele mai des întâlnite forme de canale regulate ;
- semiautomatizarea proiectării canalelor cu geometrii noi;
- într-o bună măsură este automatizată și proiectarea fabricației;
- întregul dialog se desfășoară în limba română, existând inclusiv un suport tehnic (de tip *help*), tot în limba română, pentru a face acest pachet software cât mai ușor de utilizat.

Interfața modulului de prelucrare a canalelor

Interfața stemului FASC-2003 a fost completată prin adăugarea unei noi comenzi, denumite *Frezare canale*, ce a fost amplasată în meniul *Calcul regim* (Fig. 1.28).

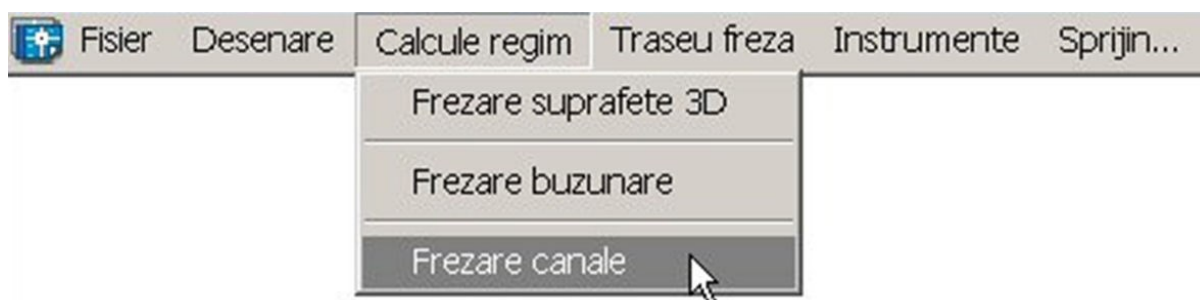


Fig. 1.28 Apelarea comenzii *Frezare canale*

După lansarea în execuție a comenzii *Frezare canale*, va fi afișată o fereastră de dialog din care poate fi ales unul dintre cele șase tipuri de canale predefinite, în vederea dimensionării și apoi a prelucrării lui. Dacă se utilizează o formă de contur predefinită (triunghi, elipsă, dreptunghi, pătrat sau hexagon), conturul poate fi selectat cu mouse-ul din fereastra afișată (Fig. 1.29). Pentru editarea canalelor predefinite, este disponibilă și o opțiune de racordare a elementelor componente la capete.

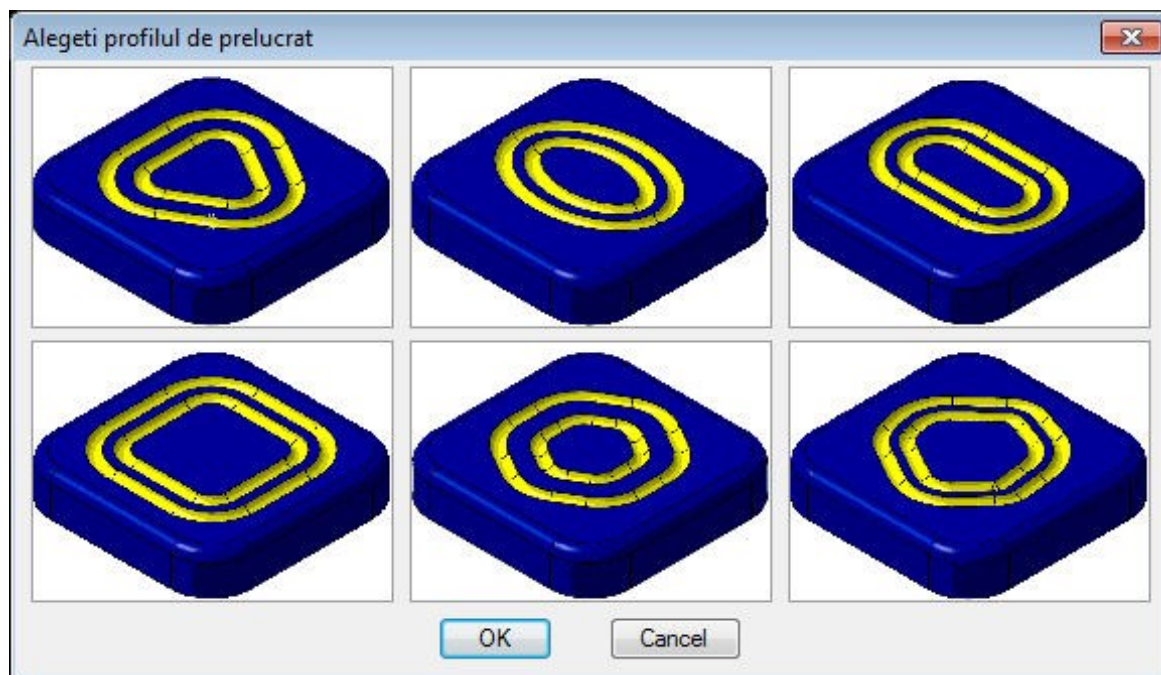


Fig. 1.29 Fereastra de dialog a comenzii *Frezare canale*

Dacă se dorește construirea unui contur nou, care nu există în baza de date a sistemului, atunci este necesară construirea integrală a acestuia. Pentru modelarea lui, pot fi utilizate comenzile personalizate amplasate în meniul desenare (Fig. 1.30), care rulează în limba română.

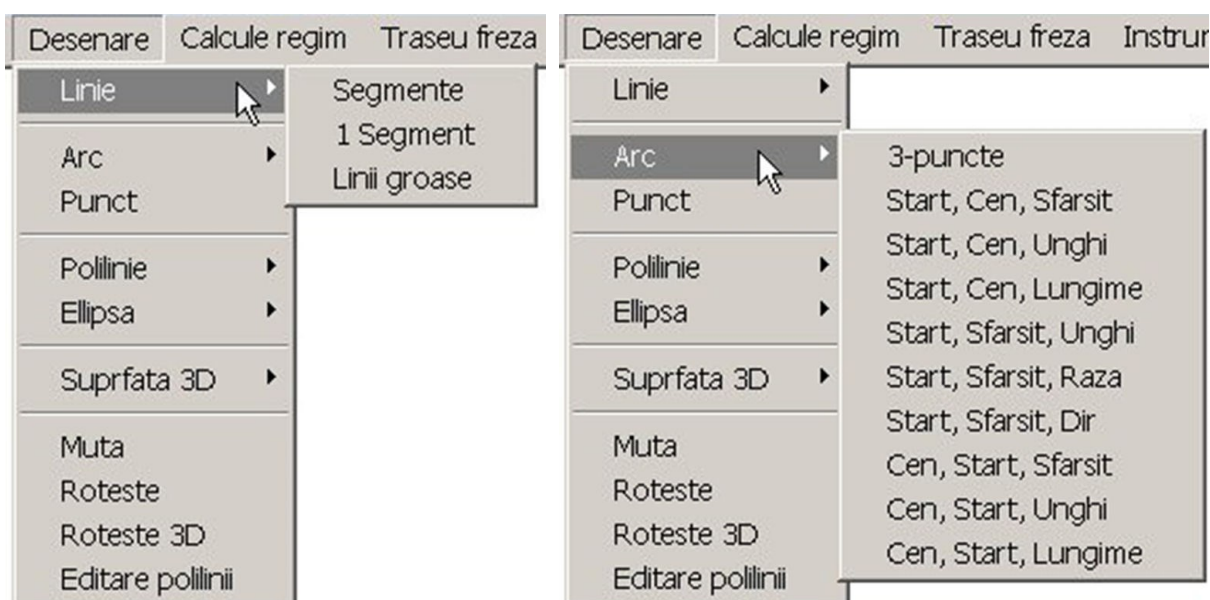


Fig. 1.30 Comenzii personalizate de generare a unui contur nou

În afara comenzilor de modelare geometrică, au fost definite și câteva comenzi de editare a profilelor noi (mutare, rotire sau editare) (Fig. 1.31).

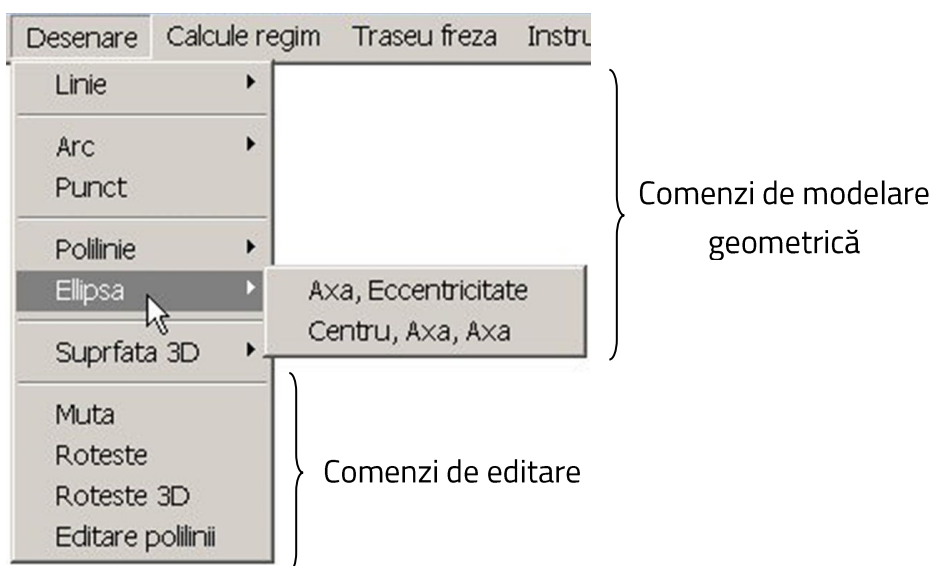


Fig. 1.31 Comenzi personalizate pentru generarea și editarea canalelor noi

După ce a fost modelat conturul, este afișată o fereastră de dialog destinată dimensionării lui, existând și posibilitatea multiplicării acestuia (Fig. 1.32).



Fig. 1.32 Poziționarea, dimensionarea și multiplicarea canalului

Prelucrarea canalelor

Generarea canalelor în vederea prelucrării, se poate realiza în patru variante diferite, după cum urmează:

- încărcarea unui contur din baza de date a sistemului;
- modelarea unui contur nou, folosind comenzi dedicate;
- generarea conturului prin încărcarea unui fișier text, ce conține punctele ce-l definesc. În această situație, pot fi construite canale poligonale sau canale definite cu ajutorul curbilor de tip *spline*, generate prin interpolare;
- contur definit cu ajutorul comenzilor existente în mediul AutoCAD – această variantă presupune cunoașterea mediului de proiectare AutoCAD.

Modulul CAM, destinat prelucrării canalelor, va prelua toate informațiile necesare generării traseului sculei așchietoare din secțiunea CAD a sistemului FASC-2003.

Dacă există o freză standardizată, al cărei diametru este egal cu lățimea conturului, acesta va fi prelucrat dintr-o singură trecere. În caz contrar, vor fi generate mai multe canale succesive până la obținerea lățimii dorite (Fig. 1.33 -a).

Conturul poate avea o formă poligonală (atunci când raza de racordare este 0) sau poate avea colțurile rotunjite. De asemenea sistemul permite și prelucrarea succesivă a mai multor canale echidistante cu formă identică (Fig. 1.33 -b).

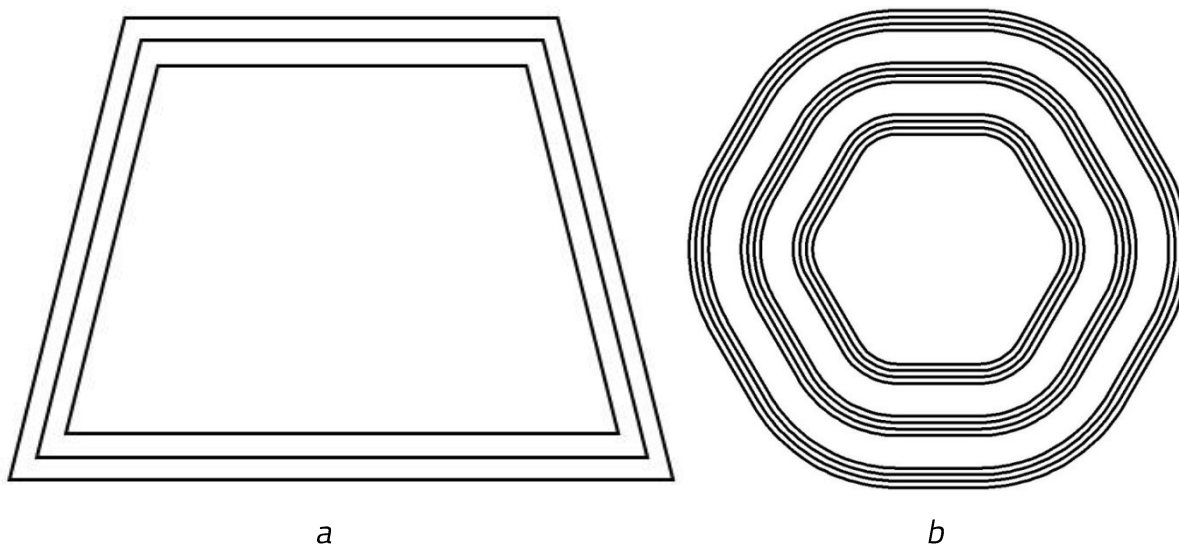


Fig. 1.33 Prelucrarea canalelor late –a; imbricate -b

După introducerea tuturor datelor de intrare, este generat programul CN de frezare (Fig. 1.34), fiind posibilă totodată și simularea prelucrării.

```
(Degrosare profil hexagon)
[BILLET X100 Y100 Z34]
[EDGEMOVE X0 Y0 Z0]
[TOOLDEF T1 D12 T2 D10 T3 D8]
G91 G28 Z20
M06 T01
M03 S2000
G90 G0 X0 Y0
Z10
G1 Y0 Z0 F1000
X0 Y0 Z-4
X3 Y2.23 Z-4
X3 Y4.45 Z-4
X3 Y6.68 Z-4
.....
```

Fig. 1.34 Programul de CN de frezare

1.1.3.7. Modulul destinat prelucrării canalelor cu formă spirală [Lancea-13];

Acest modul al sistemului FASC-2003 permite prelucrarea CNC, prin frezare, a unor canale plane de formă spirală. Prelucrarea acestor entități, se realizează tot prin frezare, iar sculele așchietoare folosite sunt frezele cilindro-frontale sau frezele cu cap sferic. Modulul deține o bază de date compusă din mai multe tipuri de canale predefinite, ce pot fi încărcate rapid. De asemenea, pot fi create și canale noi, cu ajutorul comenzilor existente în meniul personalizat sau utilizând comenzile mediului AutoCAD – această variantă presupune cunoașterea mediului de proiectare AutoCAD.

Pentru proiectarea canalelor spirale, programul FASC-2003 are predefinite 4 tipuri de canale (Fig. 1.35) cu următoarele geometrii:

- spirală arhimedică (Fig. 1.35 -a);
- spirală dreptunghiulară (Fig. 1.35 -b);
- spirală dreptunghiulară racordată, cu raze de racordare constante sau variabile (Fig. 1.35 -c);
- spirală dreptunghiulară cu colțurile teșite, având teșiri constante sau variabile (Fig. 1.35 -d);

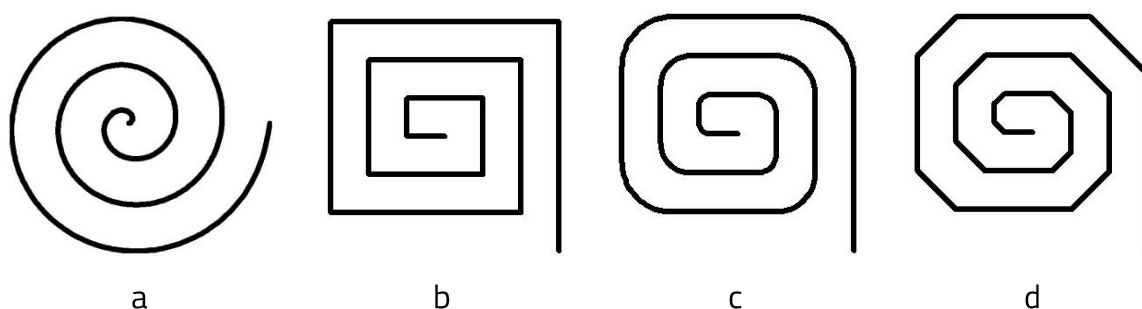


Fig. 1.35 Tipuri de contururi: în spirală arhimedică -a; în spirală dreptunghiulară -b; în spirală dreptunghiulară racordată -c; în spirală dreptunghiulară cu colțurile teșite -d

Interfața modului de prelucrare a canalelor cu formă spirală

Interfața stemului FASC-2003 a fost completată prin adăugarea unei noi comenzi, denumite *Frezare canale cu contur spiral*, amplasată în meniul *Calculare regim*, sub-meniul *Frezare canale* (Fig. 1.36).

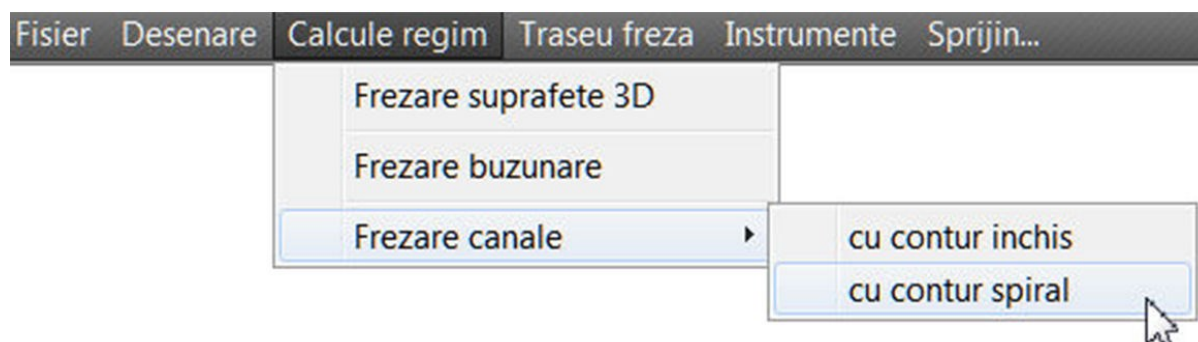


Fig. 1.36 Apelarea comenzii *Frezare canale cu contur spiral*

După apelarea comenzii *Frezare canale cu contur spiral*, se va afișa o fereastră de dialog, de unde poate fi aleasă geometria canalului predefinit dorit (Fig. 1.37).

Dacă este ales un canal a cărui formă este o spirală arhimedică, va fi afișată o fereastră de dialog în cadrul căreia pot fi introduse toate datele ce definesc acest tip de spirală (Fig. 1.37)

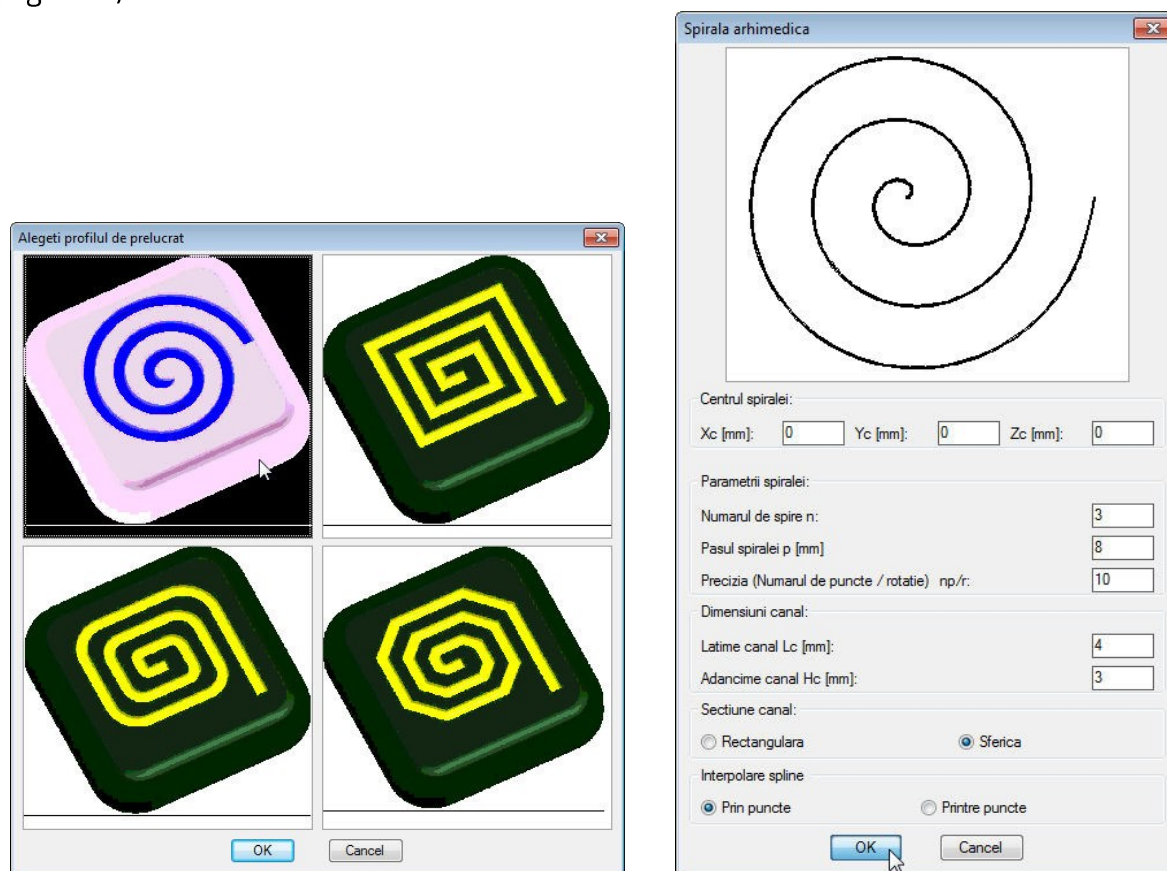


Fig. 1.37 Ferestre de dialog ale comenzii *Frezare canale cu contur spiral*

Modulul CAM este asemănător celui proiectat pentru fabricarea canalelor cu contur închis.

1.1.3.8. Modulul destinat prelucrării unor suprafețe din domeniul stomatologic [Lancea-12 Lancea-11];

Una dintre etapele importante ale tratamentului stomatologic, o constituie analizarea câmpului protetic al pacientului și stabilirea unei strategii de colaborare, pentru realizarea unei lucrări protetice optime ca funcționalitate, estetică, durabilitate și preț.

În primul rând, este examinată fișa situației dentare, care conține toate datele din cavitatea bucală a pacientului. Aceasta include situația reală a gurii, cu toate intervențiile anterioare, plombe, extracții, implanturi etc.

Pentru a avea o imagine detaliată a situației din gura pacientului, se folosesc radiografiile panoramice, care permit vizualizarea structurii osoase maxilare și mandibulare și camere intraorale, destinate vizualizării și salvării geometriei dinților pe calculator.

Plecând de la aceste informații, s-a conturat ideea realizării unui nou sistem destinat proiectării și fabricării unor suprafețe din domeniul stomatologic. Într-o primă etapă, a fost realizat un pachet software care să poată fi utilizat pentru concepția și fabricația asistată de calculator a unui dinte molar, în regim asistat de calculator. După ce a fost finalizat, acesta a fost integrat în sistemul FASC-2003.

Dintre toți dinții cavității bucale, s-a ales un dinte molar, deoarece are cea mai mare frecvență de deteriorare sau distrugere. În această situație se impune, de obicei, extragerea acestuia și înlocuirea lui cu un dinte artificial.

Cea mai utilizată metodă folosită pentru obținerea dinților artificiali presupune modelarea și fabricarea lor. Prezentul modul a fost conceput pentru rezolvarea acestei probleme într-un timp cât mai scurt și cu costuri mult mai mici decât în cazul achiziționării unui sistem CAD/CAM dedicat.

Interfața modului de prelucrare a dinților molari

În anul 2012 meniul *Calcul regim* a fost completat cu o nouă comandă destinată frezării geometriei dinților, denumită *Frezare molari* (Fig. 1.38). Punctul de plecare, pentru modelarea acestei suprafețe, îl constituie imaginea preluată din gura pacientului cu ajutorul unei camere intraorale.

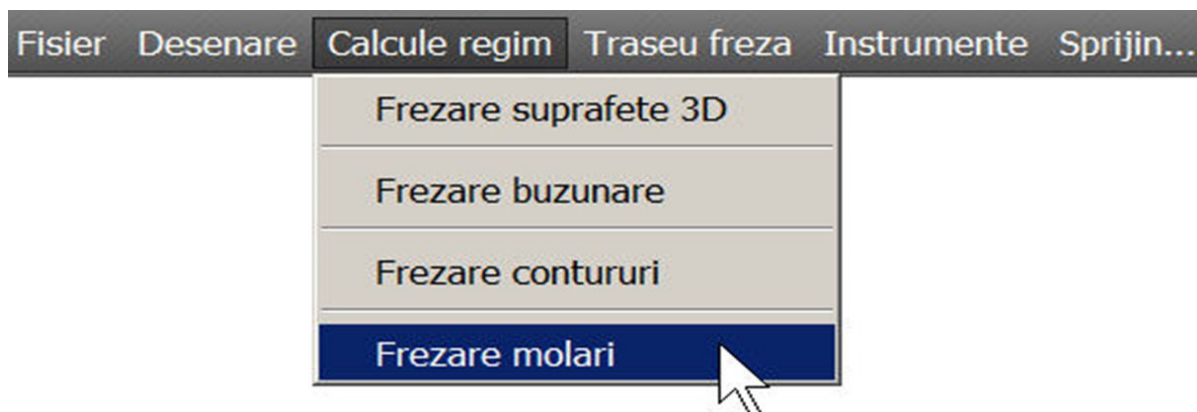


Fig. 1.38 Apelarea comenzii *Frezare molari*

Generarea suprafeței fizionomice a molarului

Modelarea geometrică a părții active a dintelui se va realiza în mai multe etape (Fig. 1.39).

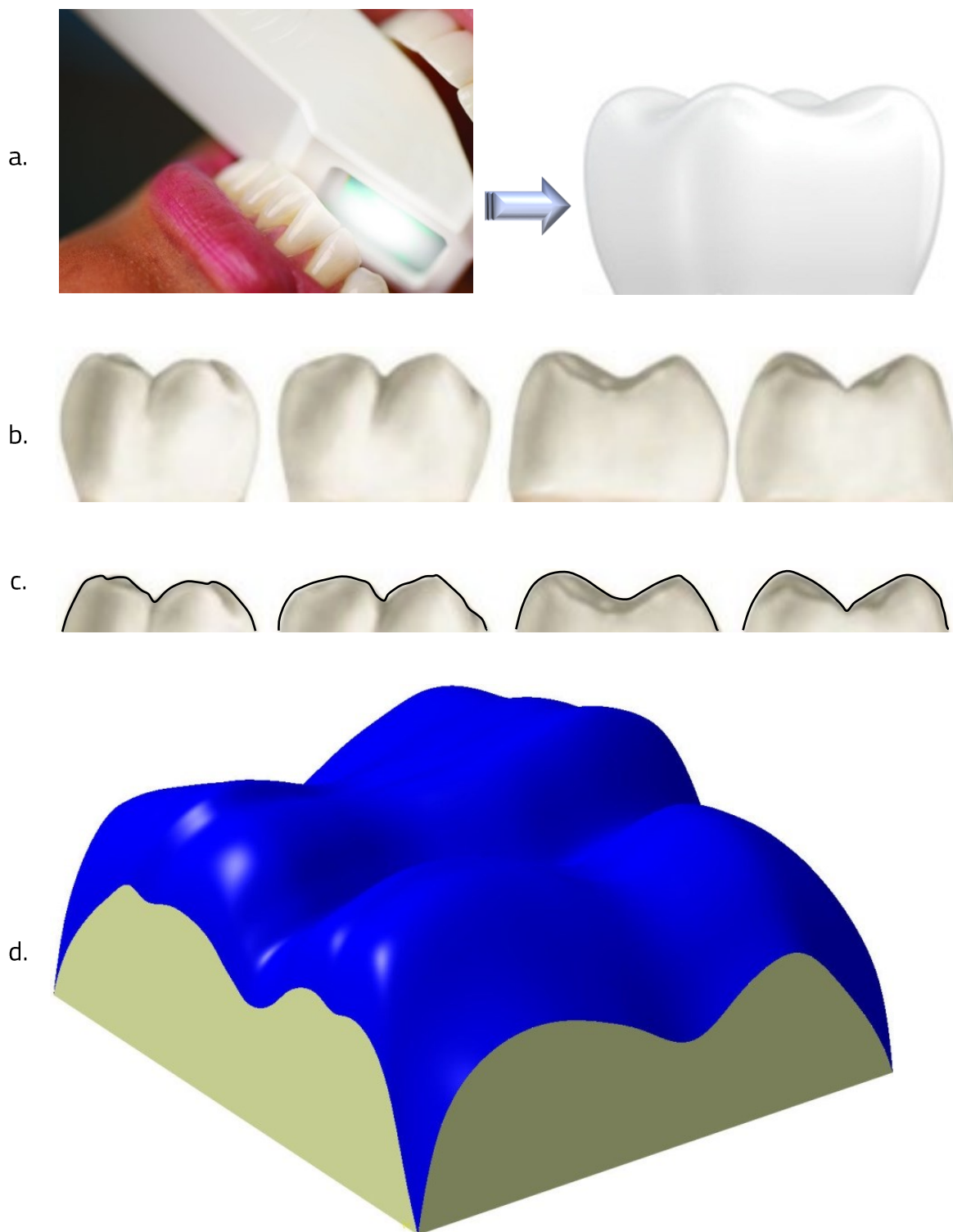


Fig. 1.39 Etapele modelării geometrice a dintelui

Aceste etape constau în:

- vizualizarea și salvarea imaginii 3D a dintelui, cu ajutorul unei camere intraorale (Fig. 1.39-a);
- obținerea imaginilor pentru cele patru vederi plane ale dintelui: din față, spate, stânga și dreapta (Fig. 1.39-b);
- modelarea a patru curbe plane spline, peste conturul fiecărei vederi, reprezentate la scara 1:1 (Fig. 1.39-c);
- generarea suprafeței de prelucrat, ca o înfășurătoare a celor patru curbe modelate anterior (Fig. 1.39-d);

Generarea suprafeței de degroșare

Plecând de la geometria suprafeței modelate, ce reprezintă suprafața de finisare pentru programul CN, va fi generată și suprafața de degroșare. Această suprafață va fi poziționată cu 1 mm deasupra suprafeței de finisare, are o geometrie apropiată de cea a suprafeței de finisare, dar prezintă raze de curbură mai mari (Fig. 1.40).

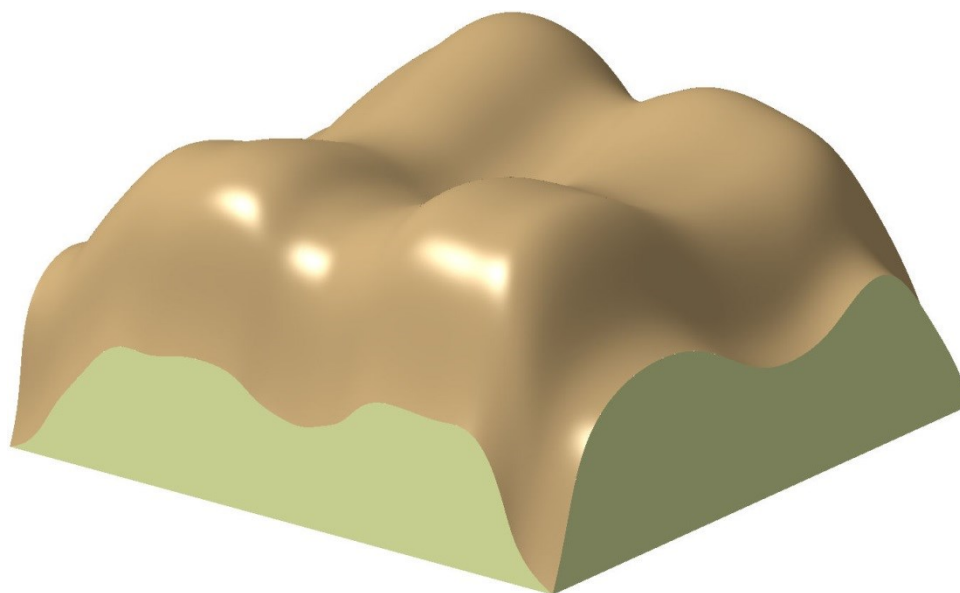


Fig. 1.40 Suprafața de degroșare

Modulul destinat prelucrării unor suprafețe din domeniul stomatologic este, până în prezent, ultimul modul adăugat sistemului FASC-2003, urmând ca în perioada următoare

să fie completat și cu alte noi module, destinate frezării de conturare, găuririi, prelucrării buzunarelor spațiale sau a canalelor spațiale.

Modulul destinat generării programului CN nu va fi prezentat deoarece este asemănător celui proiectat pentru frezarea suprafețelor 3D, prezentat în capitolul 1.1.4.

1.2. Sistemul CAD/CAM Fiting-NC destinat strunjirii CN în 2 axe [Lancea-09, Ivan-05]

Un alt proiect, început în anul 2005 și finalizat în anul 2009, a constat în realizarea unui software original, denumit *Fiting-NC*, destinat obținerii programului CN pentru prelucrarea asistată de calculator a pieselor din categoria fittingurilor, prin stunjire.

Modelarea fiecărei piese se realizează prin alegerea și apoi dimensionarea entităților ce compun piesa reprezentativă (Fig. 1.41), fiind astfel posibilă adăugarea succesivă a unor suprafețe cilindrice exterioare sau interioare, generarea unui profil hexagonal precum și teșirea sau racordarea tuturor entităților create.

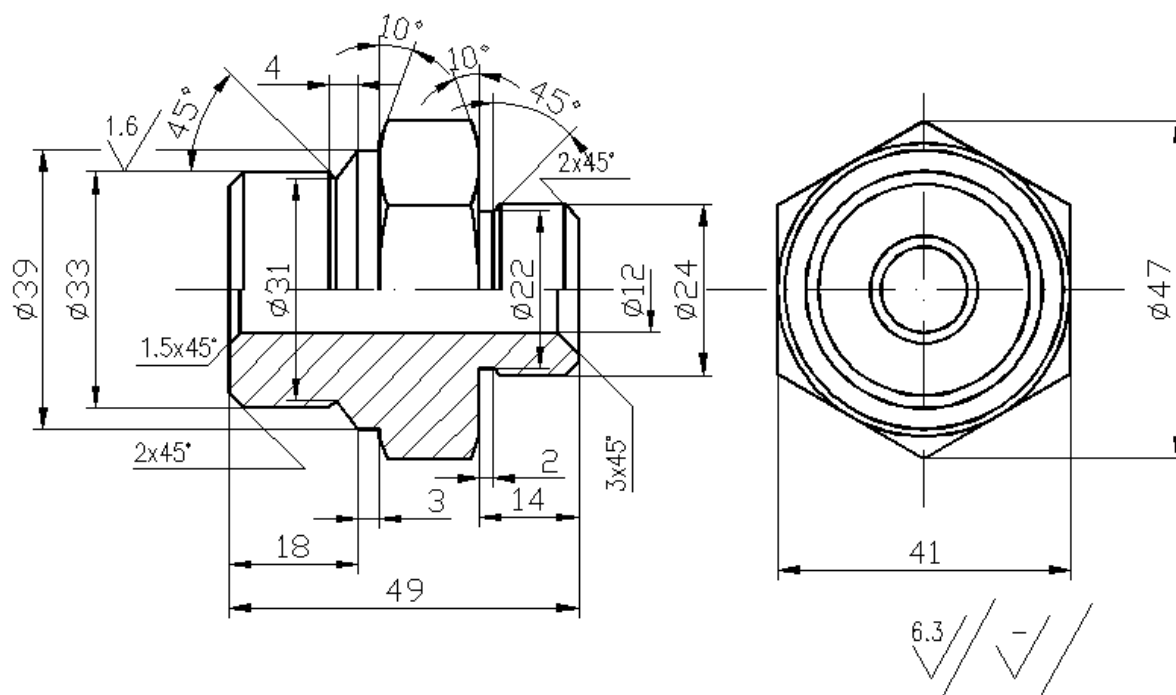


Fig. 1.41 Piesa reprezentativă

Preluarea datelor geometrice parametrizate, în vederea generării asistate a programului CN, se realizează imediat după încheierea fazei de proiectare a fittingului, în concordanță cu principiile ingineriei simultane. În acest fel, timpul destinat conceperii programului CN este redus considerabil.

Acest produs a fost proiectat, de asemenea, pe platforma pachetului software AutoCAD, iar programarea s-a realizat în modulul de programare al acestuia: VisualLisp. Pentru proiectarea ferestrelor de dialog s-a folosit limbajul DCL.

Programul CN poate rula pe orice strung CNC în 2 axe, echipat cu un controler FANUC, și a fost testat cu succes pe strungul CNC *Denford CNC Nova Turn*, din dotarea departamentului de Ingineria Fabricației.

1.2.1. Interfața sistemului CAD/CAM *Fiting-NC*

Interfața sistemului *Fiting-NC* a fost astfel concepută încât să permită generarea semiautomată a unei piese de tip fitting, plecând de la o piesă reprezentativă (Fig. 1.41). Pentru proiectarea fittingului, a fost creat un meniu propriu (Fig. 1.42), denumit *Generare fitting*, prin intermediul căruia acesta poate fi construit treaptă cu treaptă, începând cu diametrul semifabricatului și continuând cu introducerea tuturor dimensiunilor necesare construirii fiecărei trepte, respectiv diametrul și lungimea.

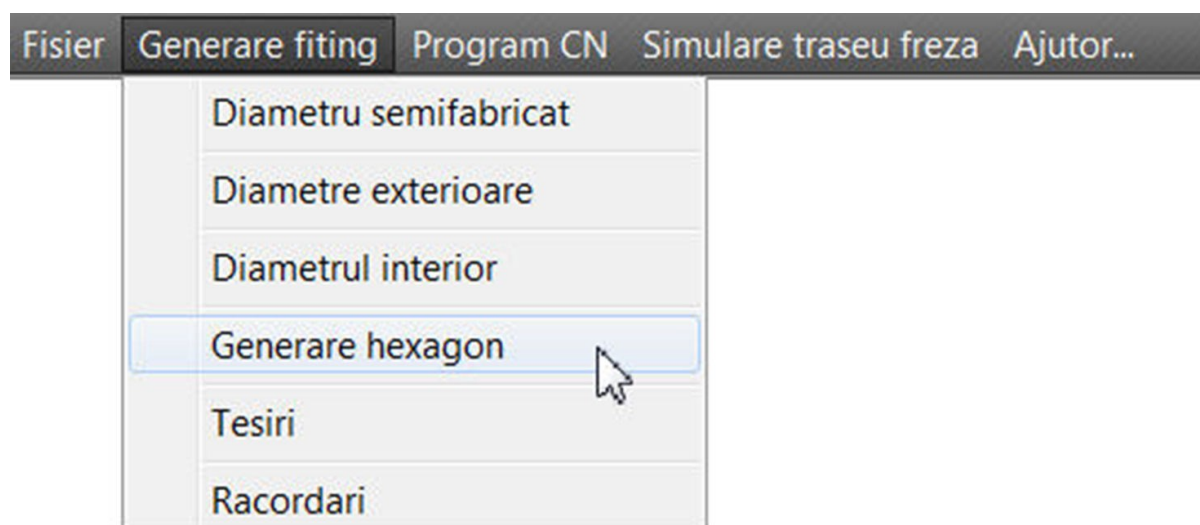


Fig. 1.42 Meniul *Generare fitting*

1.2.2. Structura sistemului CAD/CAM *Fiting-NC*

În cadrul sistemului *Fiting-NC*, a fost concepută o nouă modalitate de proiectare a fittingului, mult simplificată, comparativ cu varianta implicită oferită de AutoCAD.

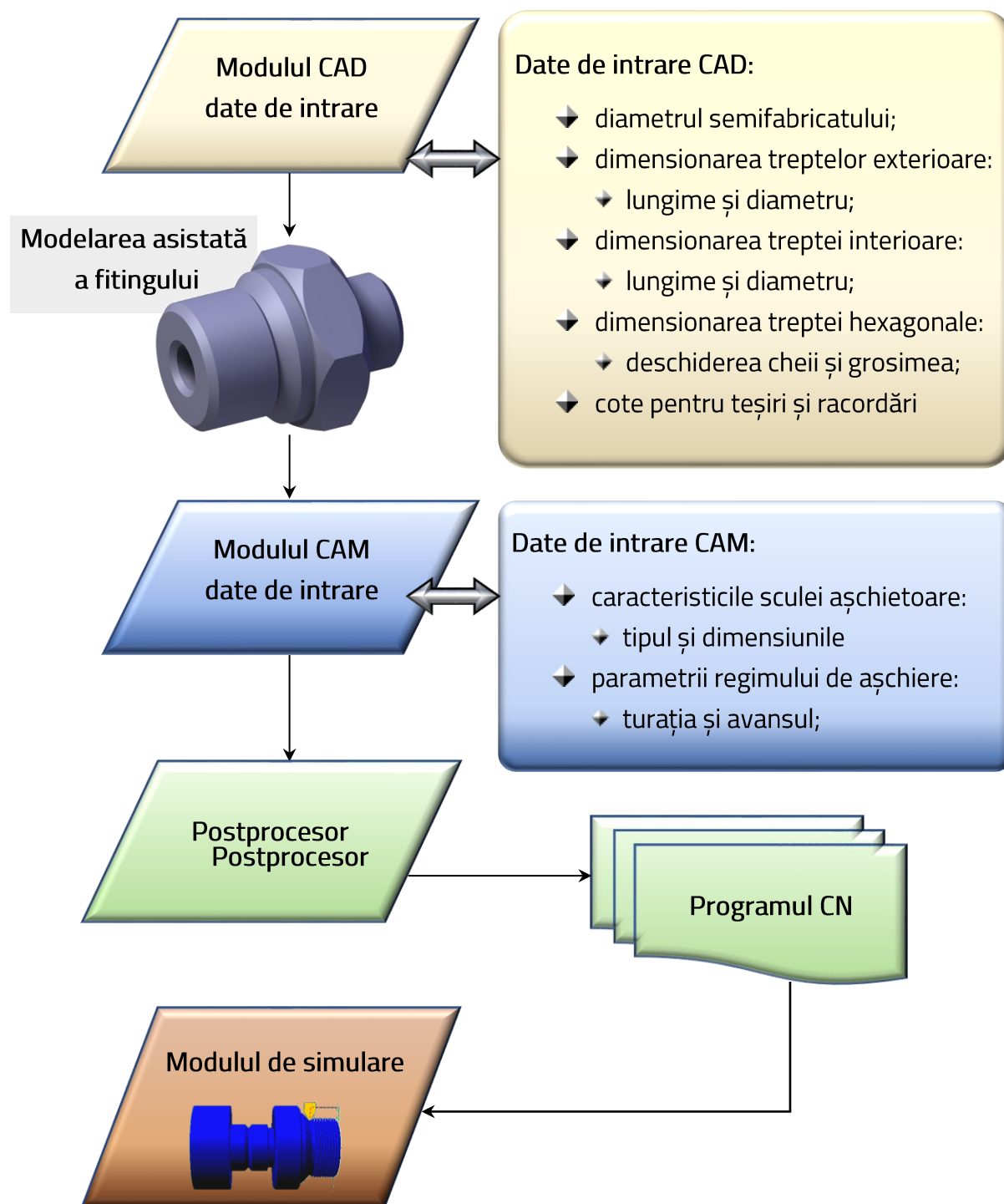


Fig. 1.43 Structura sistemului CAD/CAM *Fiting-NC*

Principalul avantaj al acestei inovații, îl constituie faptul că sistemul devine accesibil și utilizatorilor fără experiență în domeniul CAD. În acest sens, proiectarea fittingului se rezumă doar la introducerea dimensiunilor piesei proiectate, prin intermediul ferestrelor de dialog.

După ce au fost introduse toate datele solicitate, sistemul construiește automat fittingul, cu suprapunerea axei sale de simetrie peste axa Oz a sistemului de referință (care ulterior va fi suprapusă și peste axa z a MUCN). Suprafața din partea stângă a fittingului este amplasată în planul orizontal (xOy) (Fig. 1.44).

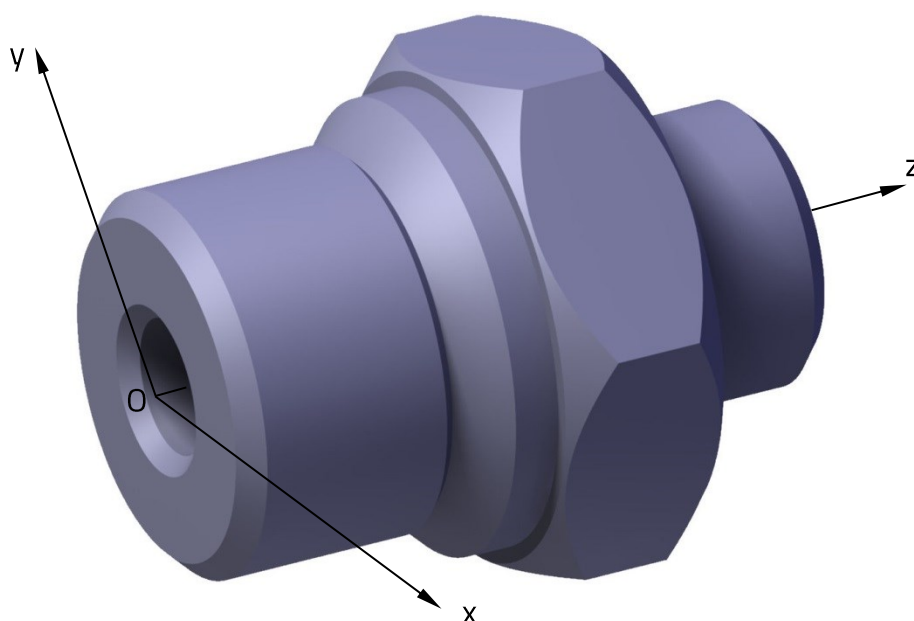


Fig. 1.44 Poziționarea fittingului în modulul CAD

Acest sistem, creat pe o structură modulară, este compus din mai multe module, ce au fost grupate în meniuri (Fig. 1.42).

1.2.3. Modulul CAD al sistemului *Fiting-NC*

Modulul CAD, al sistemului *Fiting-NC*, a fost conceput pentru construirea fittingului prin definirea individuală a fiecărei trepte componente. Majoritatea treptelor sunt cilindrice, dar poate fi definită și o treaptă hexagonală (Fig. 1.45). După încheierea procesului de modelare a tuturor treptelor, acestea vor putea fi teșite sau racordate.

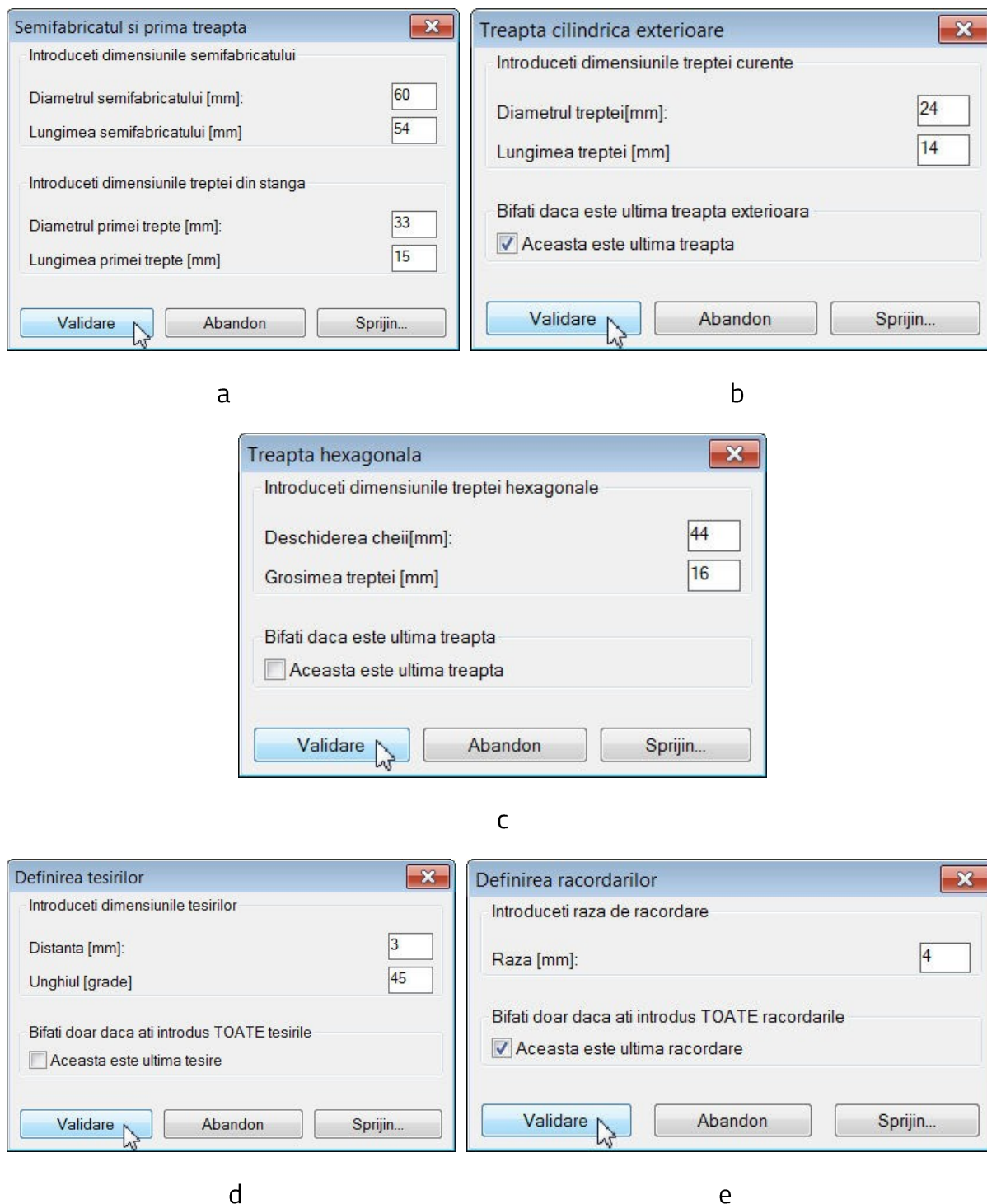


Fig. 1.45 Ferestrele de dialog ale modulului CAD destinate proiectării fittingului

Pentru modelarea fittingului, nu sunt necesare cunoștințe CAD, fiind suficientă doar cunoașterea cotelor acestuia. Cotele vor fi introduse în ferestre de dialog personalizate, proiectate individual, pentru a putea fi apoi preluate toate date necesare modelării precum:

- dimensiunile semifabricatului și ale primei trepte cilindrice exterioare (Fig. 1.45-a);
- dimensiunile celorlalte trepte exterioare (Fig. 1.45-b);
- dimensiunile treptei hexagonale (Fig. 1.45-c);
- dimensiunile teșirilor și a unghiului de înclinare al acestora (Fig. 1.45-d);
- dimensiunile razelor de racordare (Fig. 1.45-e);

Dacă există elemente cu geometrii identice, dar cu dimensiuni diferite, cum este cazul treptelor cilindrice, al teșiturilor sau racordărilor, unele dintre ferestrele de dialog pot fi afișate succesiv, până când este selectat butonul ce precizează faptul că elementul curent este ultimului element din acea categorie.

Toate datele de intrare, preluate în exclusivitate prin intermediul ferestrelor de dialog, sunt codificate și salvate într-un fișier text, pentru a fi ulterior preluate de către funcțiile modului CAM.

1.2.4. Modulul CAM al sistemului *Fiting-NC*

După încheierea procesului de introducere a dimensiunilor fittingului, modulul CAD va preda controlul modului CAM, în vederea generării programului CN (Fig. 1.46).

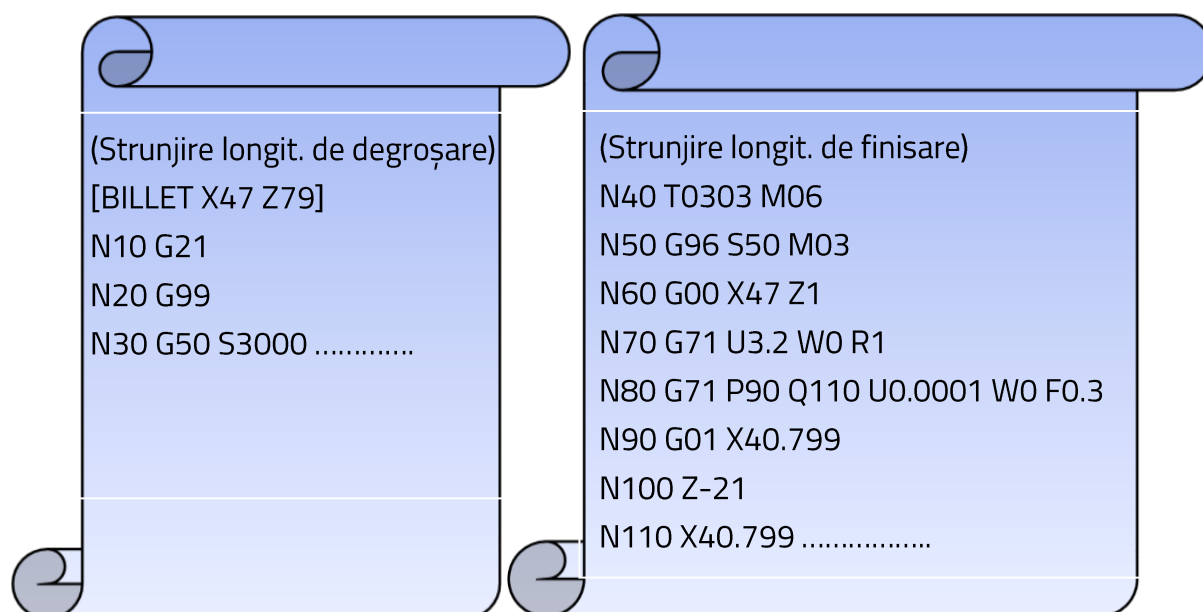


Fig. 1.46 Fragment din programul CN de strunjire a fittingului

Înainte de generarea programului CN, vor fi preluate informațiile ce definesc tipul și dimensiunile sculei așchietoare sau valorile parametrilor regimului de așchiere, precum turația strungului și avansul de prelucrare.

Toate aceste date, împreună cu datele memorate în timpul rulării modulului CAD, vor fi codificate într-un format acceptat de controlerul FANUC al strungului și memorate în fișierul CN.

1.2.5. Modulul de simulare al sistemului *Fiting-NC*

Înainte de transmiterea fișierului CN către strungul CNC *Denford CNC Nova Turn*, acesta este verificat cu ajutorul modulului de simulare al sistemului *Fiting-NC*.

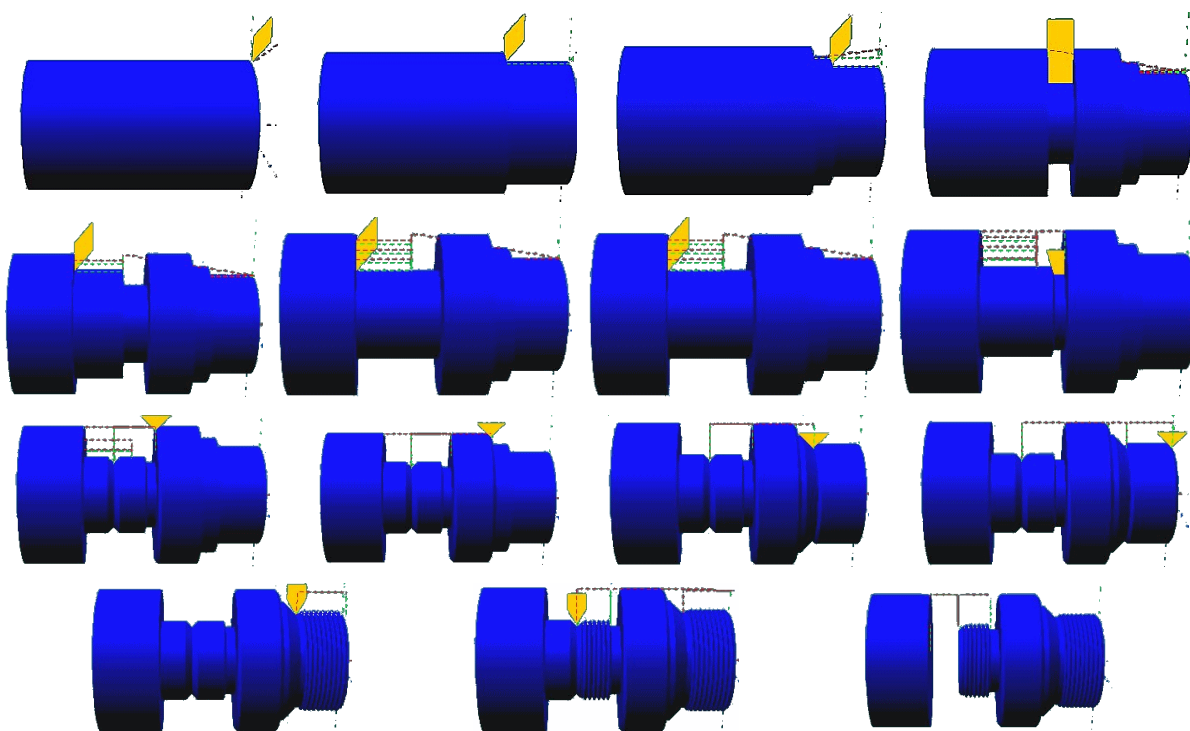


Fig. 1.47 Simularea prelucrării fittingului

Verificarea programului CN constă într-o simulare a prelucrării (Fig. 1.47), în cadrul căreia sunt urmărite mai multe aspecte precum:

- verificarea sculei alese pentru prelucrare, atât în ceea ce privește tipul ei, cât și poziția acesteia în magazia de scule a strungului;

- analizarea traseelor de prelucrare, din punct de vedere al geometriei lor;
- verificarea eventualelor coliziuni dintre sculă și componentele strungului, dispozitivele de poziționare și fixare, sau alte elemente existente.

Așa cum se poate constata din cele prezentate mai sus, software-ul *Fitting-NC* poate fi utilizat de către orice persoană interesată în proiectarea și fabricarea pieselor de tip fitting, chiar și atunci când nu are competențe în domeniul proiectării și fabricației, deoarece programul CN se obține doar în urma introducerii succesive a unor date în ferestrele de dialog ale sistemului.

Plecând de la această configurație, sistemul va putea fi dezvoltat astfel încât să cuprindă și alte familii de piese de revoluție precum arborii, șuruburile, bucșele etc.

Sistemul *Fitting-NC* este ultimul dintre sistemele CAD/CAM, realizate de către autor până în prezent.

1.3. Sistemul software WinCOST destinat estimării costurilor de prelucrare a produselor industriale [Lancea-07a, Lancea-07b, CNCSIS-06]

Un alt sistem software, denumit WinCOST, a fost creat pentru estimarea costurilor de prelucrare a produselor industriale. Acest sistem a fost și conceput de echipa unui grant de cercetare din anul 2006, având un buget de 75000 lei.

Sistemul WinCOST poate fi utilizat pentru normarea tehnică și estimarea costurilor produselor industriale cu grad înalt de personalizare, ce sunt fabricate prin așchiere sau prin presare la rece. În urma cercetărilor efectuate în cadrul grantului mai sus amintit, au fost obținute o serie de formule și modele matematice originale, destinate determinării atât a normei tehnice de timp, cu referire la principalele prelucrări prin așchiere sau prin presare la rece, precum și a costurilor de fabricație. Toate aceste relații au fost apoi implementate în sistemul software, ce va fi prezentat în continuare.

Operațiile de prelucrare prin așchiere, pentru care poate fi utilizat sistemul WinCOST, sunt: strunjirea, frezarea, găurirea, rabotarea, mortezarea, danturarea, rectificarea și broșarea.

1.3.1. Structura sistemului WinCOST

Sistemul WinCOST a fost conceput pentru produse industriale de dimensiuni mici și medii și este gestionat de două module principale. Prin intermediul celor două module (Fig. 1.48) pot fi calculați timpii de fabricație ai unor produse obținute prin procedeele de prelucrare amintite mai sus, putând fi realizată apoi și o estimare a costurilor totale de fabricație a acestora.

Datele de intrare ale acestui sistem sunt alcătuite din:

- date referitoare la produs:
 - nume;
 - codificare;
 - număr de bucăți;
 - masa și materialul utilizat;
 - costul semifabricatului;
- date despre compania care fabrică produsul:
 - numele companiei;
 - date privind costurile directe și indirecte ale acesteia;
- date despre proiectarea și fabricația produsului:
 - geometria piesei;
 - varianta tehnologică adoptată;
 - mașina-unealtă și parametrii de lucru ai acesteia.

Baza de date a sistemului este compusă din:

- baza de date a mașinilor-unelte ;
- baza de date a costurilor companiei;
- baza de date a materialelor;

Fișierele sistemului se clasifică în:

- fișiere proiect, ce cuprind toate informațiile referitoare la un anumit proiect;
- fișiere cu valori ale coeficienților de calcul al timpilor de fabricație;
- fișiere cu rezultate pregătite pentru tipărire.

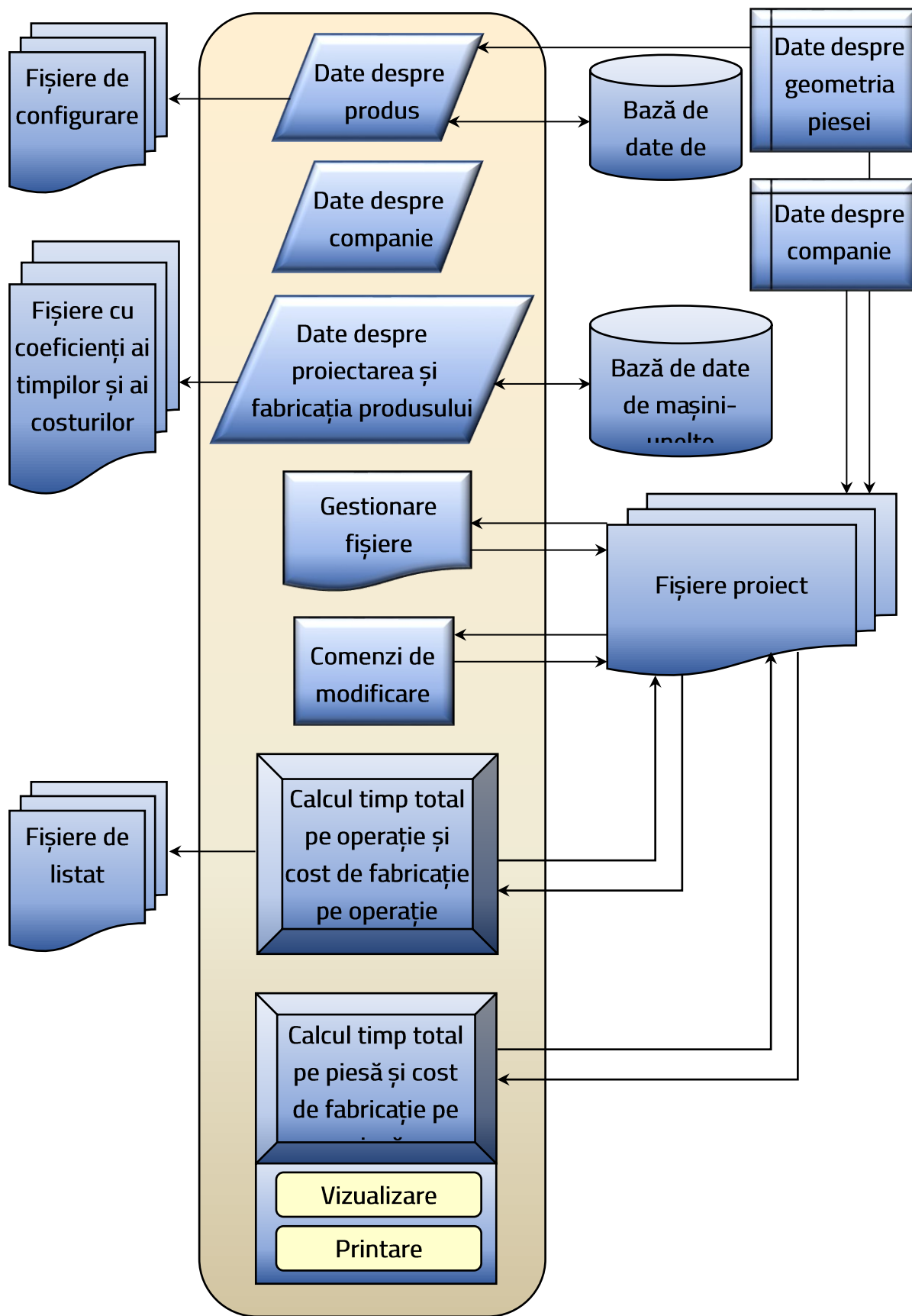


Fig. 1.48 Structura sistemului WinCOST

1.3.2. Modele matematice utilizate pentru calcularea timpilor auxiliari la prelucrările prin aşchiere

Timpii de prelucrare auxiliari ai prelucrărilor prin aşchiere sau ai prelucrărilor prin presare la rece, sunt preluați, în majoritatea cazurilor, din literatura de specialitate [Vlase-85], unde sunt prezentați sub formă tabelară. Datorită faptului că acești timpi se obțin în funcție de mai mulți parametri ai procesului de prelucrare utilizat, pentru determinarea lor trebuie să aibă în vedere și acest aspect.

Principalul dezavantaj al preluării timpilor de prelucrare auxiliari din tabele, îl constituie faptul că variabilele, de care depind, sunt prezentate secvențial, neputându-se prelua valori continue ale acestora. Pe lângă aceasta, un alt dezavantaj, ce nu trebuie neglijat, îl reprezintă și timpul de căutare ce trebuie alocat acestei acțiuni, în condițiile în care o fabricație competitivă presupune și timpi de fabricație cât mai mici.

Pentru înlăturarea acestor neajunsuri, dar și pentru micșorarea timpilor de fabricație, au fost concepute o serie de modele matematice originale, dedicate calculării asistate de calculator a timpilor auxiliari ai prelucrărilor prin aşchiere sau prin presare la rece. Aceste modele matematice au fost integrate apoi în sistemul WinCOST.

Modelele matematice, obținute pentru determinarea timpilor auxiliari, au fost calculate în funcție de numărul de variabile de care aceștia depind. În acest scop, pentru obținerea unei precizii cât mai mari, la calculul parametrilor curbilor de regresie a fost utilizat un pachet software performant: MathCAD.

În conformitate cu cele menționate mai sus, operațiile de prelucrare prin aşchiere, pentru care poate fi utilizat sistemul WinCOST, sunt: strunjirea, frezarea, găurirea, rabotarea, mortezarea, danturarea, rectificarea și broșarea. În ceea ce privește operațiile de presare la rece, aplicabilitatea sistemului vizează prelucrarea semifabricatelor tip bandă și a semifabricatelor individuale.

Deoarece contribuția autorului, în cadrul acestui proiect, a constat în modelarea matematică a relațiilor folosite pentru determinarea timpilor auxiliari ai operațiilor de frezare și de danturare, în cele ce urmează vor fi prezentate numai aceste situații.

1.3.3. Modele matematice utilizate pentru determinarea timpilor auxiliari la frezare

Modele matematice, concepute pentru determinarea asistată de calculator a timpilor auxiliari ai operației de frezare, se referă la:

- timpul de pregătire-încheiere;
- timpii auxiliari pentru prinderea și desprinderea piesei pe (de pe) masa mașinii, atunci când sunt folosite ca elemente de fixare șuruburi și bride;
- timpul ajutător pentru măsurătorile de control efectuate la piesele prelucrate prin frezare.

1.3.3.1. Determinarea timpului de pregătire-încheiere

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot n_s^{x_i} \cdot A_s^{y_i} \quad (1-6)$$

Variabilele relației:

- n_s – numărul șuruburilor de fixare a dispozitivului de prindere;
- A_s – aria suprafeței de prindere [mm²]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 5.96

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	3.308×10^{-14}
1	0	3	-2.69×10^{-19}
2	0	2	2.151×10^{-12}
3	0	1	1.273×10^{-11}
4	1	1	3.753×10^{-9}

i	x_i	y_i	C_i
5	2	1	5.122×10^{-8}
6	0	0	8.499×10^{-17}
7	1	0	2.022×10^{-15}
8	2	0	1.677×10^{-14}
9	3	0	1.15×10^{-13}

Tabelul 1.1 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-6)

1.3.3.2. Determinarea timpilor auxiliari pentru prinderea și desprinderea piesei pe masa mașinii de alezat și frezat, la fixarea cu șuruburi și bride

$$t = C \cdot s_b^x \cdot v_c^y \cdot m_s^z + C_0 \quad (1-7)$$

Variabilele relației:

- ➔ s_b – suprafața de bazare:
 - ➔ prelucrată: $s_b = 1$;
 - ➔ neprelucrată: $s_b = 2$;
- ➔ v_c – verificarea centrării:
 - ➔ fără verificare: $v_c = 1$;
 - ➔ verificare după contur: $v_c = 2$;
 - ➔ verificare după trasaj: $v_c = 3$;
- ➔ m_s – masa piesei 8, 12, 20 [kg]:

Observații:

- ➔ $C = 0.1014$
- ➔ $x = 0.6641$
- ➔ $y = 1.233$
- ➔ $z = 0.4556$
- ➔ $C_0 = 0.6628$

1.3.3.3. Determinarea timpului ajutător pentru măsurări de control la prelucrarea pe mașini de frezat

În această situație, au fost calculate două relații matematice, în funcție de instrumentele folosite pentru efectuarea controlului dimensional al piesei:

$$t = \sum_{i=0}^6 C_i \cdot a_m^{x_i} \cdot d_m^{y_i} \quad (1-8)$$

Variabilele relației:

- s_b – suprafața de bazare:
 - prelucrată: $s_b = 1$;
- a_m – aparat de măsură:
 - riglă de verificare sau echer: $a_m = 1$;
 - riglă sau metru: $a_m = 2$;
 - șubler: $a_m = 3$;
 - șubler de adâncime: $a_m = 4$;
- d_m – dimensiunea măsurată 50,100,250,500 [mm]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 5.101

sau:

$$t = \sum_{i=0}^{14} C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (I-9)$$

Variabilele relației:

- a_m – aparat de măsură:
 - micrometru: $a_m = 5$;
 - micrometru de adâncime: $a_m = 6$;
 - calibru furcă dublă: $a_m = 7$;
 - calibru furcă simplă sau potcoavă: $a_m = 8$;
- d_m – dimensiunea măsurată 50,100,250,500 [mm]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.2

i	x _i	y _i	C _i
0	0	1	9.881 x 10 ⁻⁴
1	1	1	-3.137 x 10 ⁻⁴
2	2	1	5 x 10 ⁻⁵
3	0	0	0.523
4	1	0	-0.7012
5	2	0	0.3075
6	3	0	-0.03833

a

i	x _i	y _i	C _i
0	1	3	-8.489 x 10 ⁻⁹
1	0	4	1.276 x 10 ⁻⁸
2	0	3	-1.143 x 10 ⁻⁵
3	0	2	3.002 x 10 ⁻³
4	1	2	2.29 x 10 ⁻⁵
5	2	2	-1.326 x 10 ⁻⁶
6	0	1	-0.1323
7	1	1	-0.06486
8	2	1	8.896 x 10 ⁻³
9	3	1	-4.02 x 10 ⁻⁴
10	0	0	-4.766 x 10 ⁻³
11	1	0	0.2505
12	2	0	1.073
13	3	0	-0.2222
14	4	0	0.01251

b

Tabelul 1.2 Valorile coeficienților și exponenților relațiilor (1-8) – a și (1-9) – b

1.3.3.4. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la operațiile de frezare

În această situație, au fost calculate șase relații matematice, în funcție de modul în care se realizează controlul dimensional al piesei:

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-10)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - pe ax, cu ghidare: $m_p=1$;
 - pe cepi, cu manetă: $m_p=2$;
 - pe cepi, cu bridă de strângere: $m_p=3$;
 - cu șurub pe cep: $m_p=4$;
 - pe ax, cu piuliță în cep: $m_p=5$;
 - pe ax, cu strângere pneumatică $m_p=6$;
 - cu bridă rabatabilă: $m_p=7$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -a

sau

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-11)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - cu șurub fixat pe masă: $m_p=8$;
 - în șurub și pe cepi: $m_p=9$;
 - pe ax cu strângere: $m_p=10$;
 - pe ax, în cepi cu strângere: $m_p=11$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -b

sau

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-12)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - pe ax, cu strângere pneumatică: $m_p=12$;
 - pe ax, cu manetă: $m_p=13$;
 - pe ax, cu piuliță: $m_p=14$;
 - cu bridă de fixare pe ax: $m_p=15$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -c

sau

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-13)$$

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - cu bridă de fixare: $m_p=16$;
 - pe cepi, cu bridă: $m_p=17$;
 - cu bride de fixare: $m_p=18$;
 - cu bridă cu ghidare: $m_p=19$;
 - cu șurub: $m_p=20$;
 - cu strângere pneumatică: $m_p=21$;
 - pe prisme cu strângere hidraulică: $m_p=22$;
 - între vârfuri cu excentric: $m_p=23$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -d

sau

$$t = \sum_{i=0}^{14} C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-14)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - pe prisme cu excentric: $m_p=24$;
 - pe prisme: $m_p=25$;
 - cu șurub și placă: $m_p=26$;
 - pe cep cu bridă rabatabilă: $m_p=27$;
 - pe cep și știft prin strângere: $m_p=28$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -e

sau

$$t = \sum_{i=0}^{14} C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-15)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - cu șurub cu ghidare pe profil: $m_p=29$;
 - cu bridă și șurub pe profil: $m_p=30$;
 - în locaș: $m_p=31$;
 - pe interior cu bucușă elastică: $m_p=32$;
 - pe interior cu bucușă elastică: $m_p=33$;

m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3 -f

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	1.265×10^{-4}
1	0	3	2.903×10^{-5}
2	0	2	-2.233×10^{-3}
3	0	1	0.08037
4	1	1	-0.01507
5	2	1	1.448×10^{-3}
6	0	0	1.322
7	1	0	-1.012
8	2	0	0.2774
9	3	0	-0.02217

a

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	5.211×10^{-6}
1	0	3	5.714×10^{-5}
2	0	2	-3.118×10^{-3}
3	0	1	0.4637
4	1	1	-0.07735
5	2	1	3.683×10^{-3}
6	0	0	108.7
7	1	0	-35.23
8	2	0	3.775
9	3	0	-0.1337

b

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	-4.241×10^{-5}
1	0	3	3.292×10^{-5}
2	0	2	-8.665×10^{-4}
3	0	1	0.03042
4	1	1	-1.418×10^{-3}
5	2	1	1.225×10^{-4}
6	0	0	-0.5706
7	1	0	2.397
8	2	0	-0.3408
9	3	0	0.01233

c

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	-9.362×10^{-5}
1	0	3	4.185×10^{-5}
2	0	2	-2.637×10^{-4}
3	0	1	-0.06133
4	1	1	0.01035
5	2	1	-2.578×10^{-4}
6	0	0	-44.35
7	1	0	6.936
8	2	0	-0.3545
9	3	0	5.939×10^{-3}

d

i	x _i	y _i	C _i
0	1	3	9.027 x 10 ⁻⁵
1	0	4	1.241 x 10 ⁻⁵
2	0	3	-3.227 x 10 ⁻³
3	0	2	0.4053
4	1	2	-0.02433
5	2	2	3.672 x 10 ⁻⁴
6	0	1	-28.41
7	1	1	2.665
8	2	1	-0.08321
9	3	1	8.64 x 10 ⁻⁴
10	0	0	8736
11	1	0	-1305
12	2	0	73.11
13	3	0	-1.821
14	4	0	0.017

e

i	x _i	y _i	C _i
0	1	3	-7.359 x 10 ⁻⁷
1	0	4	1.699 x 10 ⁻⁶
2	0	3	-8.373 x 10 ⁻⁵
3	0	2	-6.264 x 10 ⁻³
4	1	2	4.369 x 10 ⁻⁴
5	2	2	-5.369 x 10 ⁻⁶
6	0	1	-15.27
7	1	1	1.52
8	2	1	-0.05026
9	3	1	5.515 x 10 ⁻⁴
10	0	0	-3.954 x 10 ⁴
11	1	0	5094
12	2	0	-245.9
13	3	0	5.271
14	4	0	-0.04233

f

Tabelul 1.3 Valorile coeficienților și exponenților relațiilor (1-10) – a, (1-11) – b, (1-12) – c
(1-13) – d, (1-14) – e, (1-15) – f

1.3.3.5. Determinarea timpilor auxiliari pentru prinderea și desprinderea piesei pe masa mașinii de alezat și frezat cu manipulare manuală, cu suprafața de bazare a piesei prelucrată, cu fixare pe colțar cu șuruburi și bride

Cu fixare pe colțar și bride

$$t = C \cdot v_c^x \cdot m_s^y + C_0 \quad (1-16)$$

Variabilele relației:

- ➔ v_c – verificarea centrării:
 - ➔ fără verificare;
 - ➔ verificare cu paralelul după contur într-un plan sau două;
- ➔ m_s – masa piesei [kg]

Observații:

- ➔ $C = 0.0408$
- ➔ $x = 1.436$
- ➔ $y = 0.8189$
- ➔ $C_0 = 0.8125$

Cu fixare în dispozitiv special cu un singur loc de prindere

$$t = C \cdot v_c^x \cdot m_s^y + C_0 \quad (1-17)$$

Variabilele relației:

- ➔ v_c – verificarea centrării:
 - ➔ fără verificare;
 - ➔ verificare cu paralelul după contur într-un plan sau două;
- ➔ m_s – masa piesei [kg]

Observații:

- ➔ $C = 0.1407$
- ➔ $x = 1.358$
- ➔ $y = 0.3874$
- ➔ $C_0 = 0.2022$

1.3.3.6. Determinarea timpului ajutător pentru curățarea dispozitivului de așchii

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot c_s^{x_i} \cdot A_s^{y_i} \cdot m_c^{z_i} \quad (1-18)$$

Variabilele relației:

- c_s – configurația suprafeței curatate:
 - netedă: $c_s=1$;
 - cu proeminențe: $c_s=2$;
 - chesonată: $c_s=3$;
- A_s – aria suprafeței de prindere 10.000, 60.000, 150.000, 500.000 [mm²]
- m_c – modul de curățare:
 - aer comprimat: $m_c=11$;
 - peria / textile $m_c=12$;

Observații:

- x_i, y_i, z_i, C_i – se preiau din tabelul 1.3

i	x_i	y_i	z_i	C_i
0	1	0	1	6.25×10^{-3}
1	0	1	1	6.776×10^{-8}
2	0	0	2	-2.002×10^{-4}
3	0	0	1	6.574×10^{-3}
4	1	1	0	2.2×10^{-8}
5	0	2	0	$-4.902 \times 10^{-1,3}$
6	0	1	0	-4.396×10^{-7}
7	0	0	0	1.147×10^{-3}
8	1	0	0	-0.05396
9	2	0	0	3.125×10^{-3}

Tabelul 1.3 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-18)

1.3.3.7. Determinarea timpului de deservire a locului de muncă la mașini de frezat pentru prelucrări cu o singură freză

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot c_t^{x_i} \cdot A_s^{y_i} \cdot T_f^{z_i} \quad (1-19)$$

Variabilele relației:

- c_t – caracterul timpului de deservire:
 - timpul de deservire tehnică, în procente din timpul de bază: $c_t=1$;
 - timpul de deservire organizatorică, în procente din timpul efectiv: $c_t=2$;
- A_s – aria suprafeței de prindere 1.600, 350.000, 700.000 [mm²]
- T_f – durabilitatea frezei [min]

Observații:

- x_i, y_i, z_i, C_i – se preiau din tabelul 1.4

i	x_i	y_i	z_i	C_i
0	1	0	1	0.02048
1	0	1	1	5.642×10^{-10}
2	0	0	2	-2.203×10^{-4}
3	0	0	1	0.06404
4	1	1	0	8.445×10^{-8}
5	0	2	0	-1.332×10^{-14}
6	0	1	0	-3.529×10^{-8}
7	0	0	0	-0.06118
8	1	0	0	-0.7941
9	2	0	0	-2.26

Tabelul 1.4 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-19)

1.3.3.8. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei pe masă cu manipulare manuală

$$t = C \cdot m_p^x \cdot v_c^y \cdot m_s^z + C_0 \quad (1-20)$$

Variabilele relației:

- ➔ m_p – modul de prindere a piesei:
 - ➔ cu șuruburi și bride: $m_p=1$;
 - ➔ cu colțar, șuruburi și bride: $m=2$;
- ➔ v_c – verificarea centrării:
 - ➔ fără verificare: $vc=11$;
 - ➔ verificare cu paralel după contur într-un plan sau în 2 plane: $vc=22$;
 - ➔ verificare cu paralel după trasaj într-un plan sau în două plane: $vc=22$;
- ➔ m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- ➔ $C = 0.05312$
- ➔ $x = 0.3078$
- ➔ $y = 0.7682$
- ➔ $z = 0.3718$
- ➔ $C_0 = 0.3455$

1.3.3.9. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei în menghină, cu manipulare manuală

$$t = C \cdot m_p^x \cdot v_c^y \cdot m_s^z + C_0 \quad (1-21)$$

Variabilele relației:

- ➔ m_p – modul de prindere a piesei:
 - ➔ strângere mecanică (cu șurub): $m_p=1$;
 - ➔ strângere pneumatică: $m=2$;

- strângere mecanică [cu excentric]: $m=3$;
- v_c – verificarea centrării:
 - fără verificare: $vc=11$;
 - cu verificare: $vc=22$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- $C= 0.04511$
- $x= -0.1863$
- $y= 0.8729$
- $z= 0.2025$
- $C_0= -0.05921$

sau

$$t = C \cdot m_p^x \cdot v_c^y \cdot m_s^z + C_0 \quad (I-22)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - cu șuruburi și bride: $mp=1$;
- m_p – modul de prindere a piesei:
 - strângere mecanică [cu surub]: $mp=1$;
 - strângere pneumatică: $m=2$;
 - strângere mecanică [cu excentric]: $m=3$;
- v_c – verificarea centrării:
 - fără verificare: $vc=11$;
 - cu verificare: $vc=22$;
- m_s – masa piesei [kg]:

Observații:

- $C= 0.2116$
- $x= -0.5291$
- $y= -0.11$

- $z = 0.6735$
- $C_0 = 0.7889$

1.3.4. Modele matematice utilizate pentru determinarea timpilor auxiliari la danturare [Lancea-07a, Lancea-07b, CNCSIS-06]

Modele matematice concepute pentru determinarea asistată de calculator a timpilor auxiliari ai operației de danturare se referă la:

- timpul ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare;
- timpul de pregătire-încheiere;

1.3.4.1. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la danturare, la prelucrarea cu freze melc, cu manipulare manuală

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_a^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (I-23)$$

Variabilele relației:

- m_a – modul de așezare a piesei:
 - în universal și în vârful păpușii mobile: $m_a=1$;
 - în universal și consolă: $m_a=2$;
 - pe dorn, în universal și consolă: $m_a=3$;
 - pe suport și dorn: $m_a=4$;
 - pe suport: $m_a=5$;
- m_s – masa piesei și a dornului [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.5

i	x _i	y _i	C _i
0	1	3	-4.343 x 10 ⁻⁴
1	0	4	8.71 x 10 ⁻³
2	0	3	-0.3287
3	0	2	3.91
4	1	2	-0.03473
5	2	2	0.01478
6	0	1	-17.86
7	1	1	1.65

i	x _i	y _i	C _i
8	2	1	-0.5672
9	3	1	0.01308
10	0	0	-12.8
11	1	0	78.4
12	2	0	-50.42
13	3	0	12.65
14	4	0	-1.02

Tabelul 1.5 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-23)

1.3.4.2. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu freză disc modul pe mașini de frezat - fixare cu manipulare manuală

$$t = \sum_{i=0}^9 C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot m_s^{y_i} \quad (1-24)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - în universal și vârful păpușii mobile: $m_p=1$;
 - în universal și sprijinită în cric: $m_p=2$;
 - în universal, vârful păpușii mobile și sprijinită în cric: $m_p=3$;
 - pe dorn, între vârfuri, fără montarea și demontarea piesei: $m_p=4$;
- m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

Observații:

- x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.6

i	x_i	y_i	C_i
0	1	2	-3.563×10^{-4}
1	0	3	6.379×10^{-5}
2	0	2	$-0.001.612 \times 10^{-3}$
3	0	1	0.02941
4	1	1	4.216×10^{-3}
5	2	1	8.879×10^{-4}
6	0	0	1.18
7	1	0	-1.299
8	2	0	0.6059
9	3	0	-0.08405

Tabelul 1.6 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-24)

sau

$$t = \sum_{i=0}^{19} C_i \cdot m_p^{x_i} \cdot a_n^{y_i} \cdot m_s^{z_i} \quad (1-25)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a piesei:
 - între vârfuri: $m_p=1$;
 - între vârfuri și sprijinită în cric: $m_p=2$;
 - pe dorn neted sau canelat, între vârfuri, cu montarea presei: $m_p=3$;
 - pe dorn neted, între vârfuri, cu piuliță: $m_p=4$;
- a_n – antrenor;
 - fără montare antrenor: $a_n=11$;
 - cu montare antrenor: $a_n=22$;
 - manual: $a_n=33$;
 - cu presă mecanică: $a_n=44$;
 - cu șaibă potcoavă: $a_n=55$;
 - cu șaibă normală: $a_n=66$;

➤ m_s – masa piesei 0,5, 1, 3, 5, 8, 12, 20 [kg]

i	x_i	y_i	z_i	C_i
0	1	0	2	3.383×10^{-4}
1	0	1	2	2.542×10^{-6}
2	0	0	3	2.119×10^{-5}
3	0	0	2	-2.102×10^{-3}
4	1	1	1	2.375×10^{-4}
5	0	2	1	-5.487×10^{-6}
6	0	1	1	4.004×10^{-4}
7	0	0	1	0.03119
8	1	0	1	0.03407
9	2	0	1	-0.01082

i	x_i	y_i	z_i	C_i
10	1	2	0	0.005123×10^{-3}
11	0	3	0	-1.249×10^{-4}
12	0	2	0	-2796×10^{-3}
13	0	1	0	0.1198
14	1	1	0	-0.02893
15	2	1	0	-0.04727
16	0	0	0	-0.6524
17	1	0	0	-0.0295
18	2	0	0	0.2672
19	3	0	0	0.09003

Tabelul 1.7 Valorile coeficienților și ale exponenților relației (1-25)

Observații:

x_i, y_i, C_i – se preiau din tabelul 1.7

1.3.4.3. Determinarea timpului de pregătire-încheiere la mașini de danturat

$$t = C \cdot m_p^x \cdot t_s^y \cdot D_r^z \quad (1-26)$$

Variabilele relației:

- m_p – modul de prindere a sculei:
 - între vârfuri: $m_p=1$;
 - pe dorn sau pe dorn și în consolă: $m=2$;
 - pe suportși sau în dispozitiv: $m=3$;
- t_s – tipul sculei:
 - freză melc-modul: $t_s=11$;

- cremalieră sau cuțit roată: $t_s=12$;
- D_r – diametrul roții 350, 1000, 2000 [mm]:

Observații:

- $C = -4.327 \times 10^4$
- $x = -4.071 \times 10^4$
- $y = -1.057 \times 10^5$
- $z = -3.213 \times 10^5$

1.3.4.4. *Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la mașini de danturat*

$$t = C \cdot t_d^x \cdot D_d^y \cdot l_d^z + C_0 \quad (1-27)$$

Variabilele relației:

- t_d – tipul dornului:
 - neted: $t_d = 1$;
 - cu umăr, piuliță și șaibă: $t_d = 2$;
- D_d – diametrul dornului 10,20,30,40,50[mm]:
- l_d – lungimea dornului 150, 200, 250, 300, 350 [mm]:

Observații:

- $C = 5.966 \times 10^{-5}$
- $x = 0.1855$
- $y = 1.538$
- $z = 0.9096$
- $C_0 = -0.1109$

1.3.4.5. *Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțit roată de mortezat*

Modul de prindere: Prindere pe dorn

$$t_a = -0,601 * x^{-0,007} * N^{-0,533} * m^{0,425} + 0,502 \quad (1-28)$$

Observații:

- x – modul de centrare (1 sau 2 vezi tabelul 5.196)
- N – numărul pieselor prinse împreună
- (1,2, sau 3)
- m – masa piesei [kg]

Modul de prindere și de centrare -x	Cod
Prindere pe dorn și centrare după periferia roții	1
Prindere pe dorn și centrare după dinte	2
Prindere pe platou și centrare după periferia roții	3
Prindere pe platou și centrare după dinte	4

Tabelul 1.8 Codificarea modului de prindere și de centrare (1-28)

1.3.4.6. Determinarea timpului ajutător pentru prinderea și desprinderea piesei la danturarea cu cuțit cremalieră

Modul de prindere: Prindere pe dorn sau pe platou

$$t_a = 0,493 * x^{0,694} * N^{-0,624} * m^{0,466} + 0,74 \quad (1-29)$$

Observații:

- x – modul de prindere și de centrare (1,2,3 sau 4 vezi tabelul 5.112.)
- N – numărul pieselor prinse împreună
- (1,2, sau 3)
- m – masa piesei [kg]

Codificarea modului de prindere și de centrare (1-29) se face conform tabelului 1.8

Capitolul 2. **VALORIFICAREA SUPERIOARĂ A MATERIALELOR PENTRU OBȚINEREA UNOR STRUCTURI COMPLEXE, CU REZISTENȚĂ MECANICĂ RIDICATĂ ȘI MASĂ REDUSĂ , PRIN UTILIZAREA UNUI PROCEDEU MODERN DE FABRICAȚIE ADITIVĂ: TOPIREA SELECTIVĂ CU LASER (SLM)**

În partea a doua a perioadei ce s-a derulat de la susținerea publică a tezei de doctorat și până în prezent, începând cu anul 2012, activitatea de cercetare a autorului s-a orientat către un domeniu de cercetare nou, de mare actualitate și care se află într-o continuă evoluție și dezvoltare: fabricația aditivă a pieselor metalice sau nemetalice prin procedeul de topire selectivă cu laser – SLM (Selective Laser Melting).

Interesul manifestat pentru această tehnologie a fost motivat și de achiziționarea în cadrul Departamentului de Ingineria Fabricației a unei mașini SLM 250HL, amplasată la Institutul de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov. Acest institut a luat ființă în anul 2013, prin atragerea de fonduri europene și reprezintă cea mai mare investiție în infrastructura de cercetare din România.

2.1. Stadiul actual al cercetărilor întreprinse pentru valorificarea superioară a materialelor

În prezent, principalul obiectiv al unei producții moderne îl constituie micșorarea costurilor de fabricație, din care derivă și alte obiective precum:

- alegerea cu mare atenție a materialelor din care urmează să fie realizate noile produse;
- posibilitatea reciclării produsului sau a componentelor acestuia, într-un procent cât mai mare, ce tinde către 100%;
- creșterea calității produselor;
- reducerea consumului de energie și de materiale prin:
 - micșorarea cantității de deșeuri;

- scăderea numărului de rebuturi;
- alegerea procedeeleor optime de prelucrare, atât pentru producția de serie, dar și pentru fabricarea prototipurilor destinate, în general, testării.

Deoarece majoritatea obiectivelor enumerate mai sus sunt influențate, într-o foarte mare măsură, de materialul din care sunt confecționate produsele, s-au făcut investiții importante pentru crearea de noi materiale. În acest sens, un foarte mare interes s-a manifestat pentru obținerea unor materiale mai ușoare decât materialele tradiționale, dar care să aibă caracteristici apropiate de cele ale lor sau chiar superioare, dacă este posibil. Astfel, au luat naștere materialele construite prin multiplicarea unei celule, denumite structuri Lattice [Sufiiarov -20, Keles -16, Zhang -18], ce se caracterizează printr-o rigiditate mare, o greutate redusă și o rezistență ridicată la diverse solicitări, în special la solicitările mecanice [Blackwell -05, Smith -16]. Aceste structuri au fost obținute inițial prin copierea materialelor cu raporturi mari între rezistență și masă, existente în natură, precum: structurile osoase, fagurii de miere, aripile insectelor, trunchiurile copacilor etc.

Forma geometrică a structurilor Lattice nu a fost însă suficientă, pentru ca acestea să reziste la solicitările dorite, prin urmare, pe lângă ingeniozitatea structurală, a apărut și necesitatea folosirii unor materiale noi, care să permită apropierea proprietăților acestor structuri de proprietățile mecanice sau termice ale pieselor fabricate din materiale solide. Concret, prin modificarea structurii și arhitecturii materialului, s-au îmbunătățit considerabil modulele Young și Bulk ale acestuia [Abueidda -17, Song -19, Yin -19].

2.2. Tipuri de fabricație aditivă

În 2012, publicația "The Economist" a descris fabricația aditivă, ca fiind a treia revoluție industrială. Tehnologia de fabricație aditivă este utilizată acum în tot mai multe domenii precum: industria aerospațială, construcția de mașini, industria auto, stomatologie, chirurgie, arhitectură, arheologie, artă etc., prin fabricație aditivă putând fi produse:

- prototipuri – create pentru a fi supuse unor teste sau unor solicitări mecanice, termice, electrice etc;

- componente ale unui ansamblu - pentru testarea funcționării lui sau a modalităților de asamblare;
- modele de turnare - pentru fabricarea prototipurilor ce se obțineau prin turnare;
- obținerea de matrițe;
- fabricarea diverselor obiecte funcționale;
- machete etc.

Fabricația aditivă este definită, conform standardului ISO/ASTM 52921, ca fiind o tehnologie, ce are la bază un proces de adăugare de material, al cărui scop este acela de a obține un obiect pe baza modelului său digital 3D (fișierul CAD). Obiectul este construit strat cu strat, iar această tehnologie reprezintă opusul tehnologiilor de fabricație în care piesa este obținută prin îndepărtare de material.

Conform standardul ISO/ASTM 52921, fabricația aditivă poate fi împărțită în șapte categorii de procese, în conformitate cu tehnicile utilizate pentru crearea straturilor succesive, după cum urmează (Fig. 2.1);

- **laminare în foi** (*Sheet Lamination*) – procedeu de fabricație aditivă, în care sunt lipite o serie de straturi subțiri, ce au fost tăiate cu exactitate, de obicei cu laserul, pentru a crea designul modelului CAD. Ex. *Layered Object Manufacturing* (LOM);
- **fotopolimerizare în cuvă** (*Vat Photo Polymerization*) – procedeu de fabricație aditivă ce utilizează o rășină fotopolimer lichid, aflată în cuva imprimantei (compusă dintr-un fotopolimer lichid în care se adaugă un întăritor special) care se solidifică (polimerizează) în straturi succesive, sub influența unui laser cu lumină ultravioletă, obținându-se astfel modelul solid 3D. Ex. stereolitografia (SLA), Digital Light Processing (DLP).
- **pulverizare de material** (*Material Jetting*) – procedeu de fabricație care funcționează similar cu imprimantele 2D. Un cap de imprimare dispune picături dintr-un material fotosensibil (fotopolimer), care se solidifică la lumină ultravioletă (UV), construind astfel obiectul strat cu strat. Ex: tehnologia PolyJet;
- **pulverizare de liant** (*Binder Jetting*) – procedeu de fabricație aditivă, care folosește un pat de pulbere, pe care duzele pulverizează picături microfine ale unui

lichid, ce lipește particulele de pulbere pentru a construi o secțiune a piesei. Ex. 3D Printing;

- **extrudare de material** (*Material Extrusion*) – procedeu de fabricație ce constă în trecerea unui filament din material plastic printr-o duză, care îl încălzește până la punctul de topire, aplicându-l apoi uniform, prin extrudare, strat peste strat, pentru a printa modelul fizic 3D, în conformitate cu modelul digital, Ex. 3D Printing;
- **depunere cu energie directă** (*Direct Energy Deposition*) – este un procedeu de fabricație aditivă complex, folosit, de obicei, pentru repararea sau adăugarea de materiale suplimentare la unele piese existente, în care materialul metalic, alimentat cu duza, este furnizat sub formă de pulbere sau de sârmă. Pe măsura ce este depus, o sursă de căldură (de obicei un laser) topește materialul pentru a-l lipi, Ex: tehnologia LENS;
- **fuziunea pe pat de pulberi** (*Powder Bed Fusion*) – procedeu de fabricație aditivă, care utilizează energia unui laser de mare putere, pentru a topi un strat subțire de pulbere de metal, Ex: EBM (Electron Beam Melting), SLM.

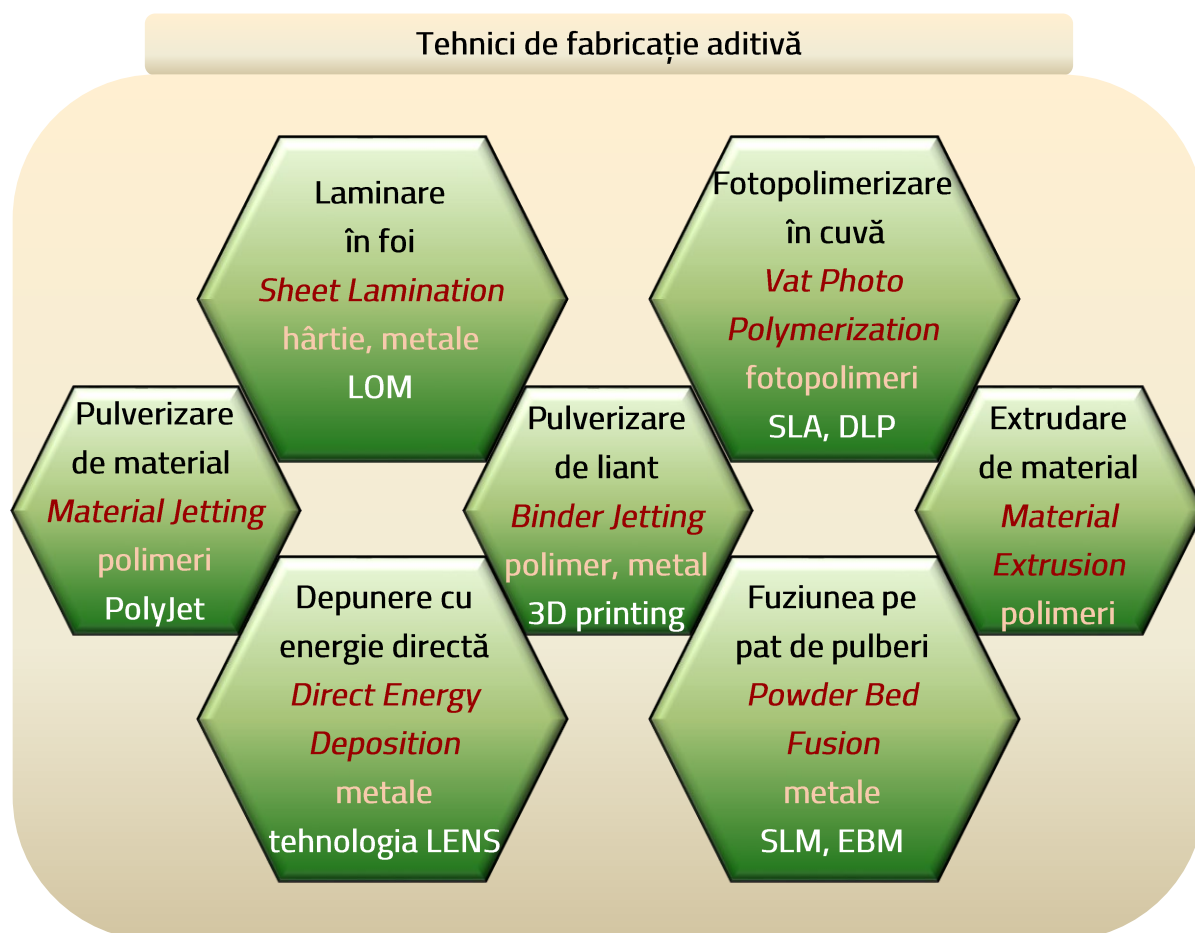
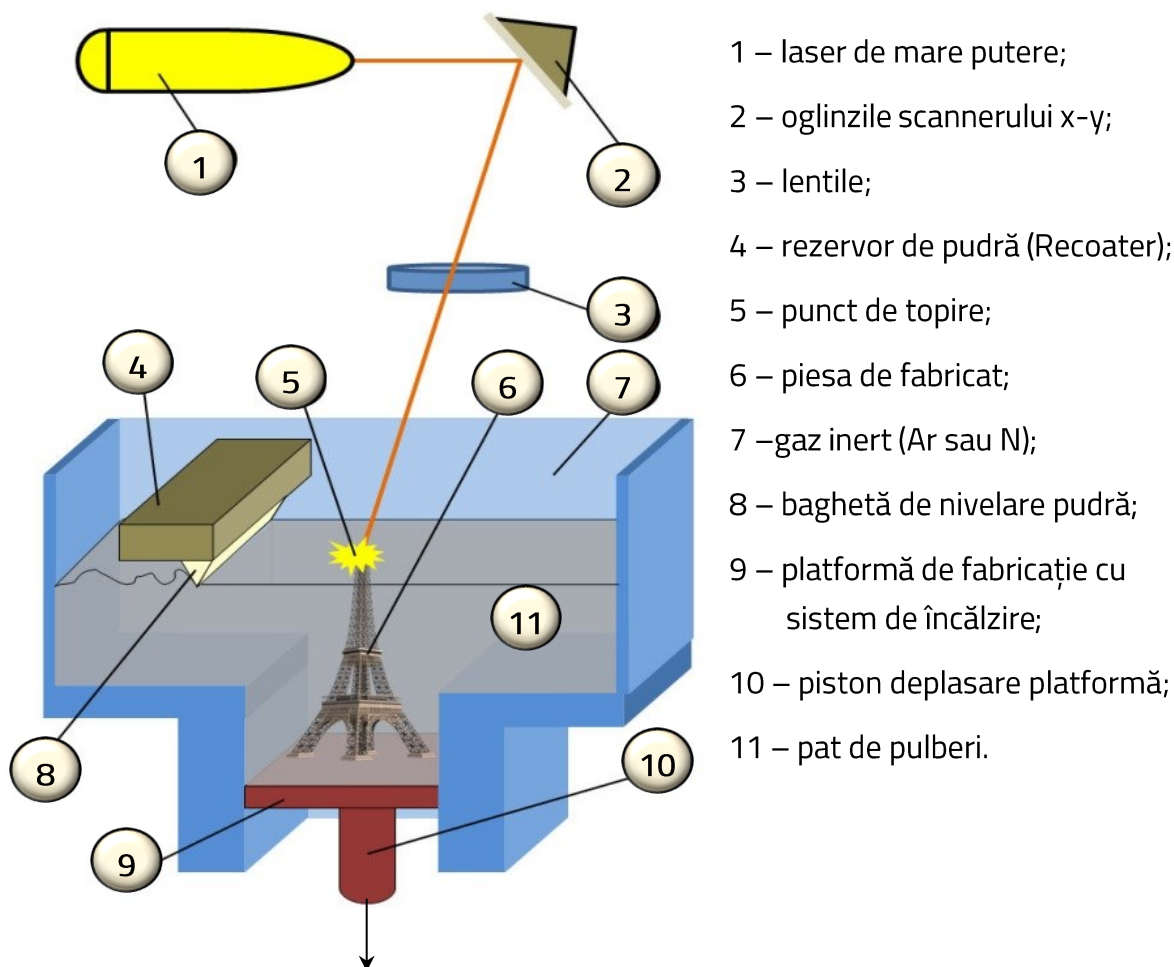


Fig. 2.1 Tehnici de fabricație aditivă

2.2.1. Procedeele de topire selectivă cu laserul (SLM) [Lancea-17-a]

Selective Laser Melting (SLM) este un procedeu de fabricație aditivă, prin care sunt fabricate obiecte solide (*Solid Freeform Fabrication – SFF*), plecând de la un model 3D digital. Procedeele constă în utilizarea energiei unui laser de mare putere pentru a topi un strat subțire de pulbere de metal. Acest proces este repetat și are ca finalitate fabricarea unei piese metalice, în trei dimensiuni, construite prin suprapunerea secțiunilor sale succesive (Fig. 2.2). Aceste secțiuni se obțin din intersectarea modelului CAD al piesei cu un fascicul de plane paralele foarte apropiate. În acest fel, procedeele SLM permite producerea unor piese complexe, care ar fi foarte dificil (sau chiar imposibil) de obținut prin metodele fabricației convenționale.



sensul de deplasare al platformei

Fig. 2.2 Schema de principiu a procedului SLM

Pe lângă avantajul prelucrării rapide a unor piese cu geometrii deosebit de complexe, rezultatele unor studii recente [Trosch -16] au dovedit capacitatea procedului SLM de a produce piese cu proprietăți mecanice chiar mai bune decât cele ale materialelor forjate sau turnate, atunci când aceste piese sunt utilizate la temperaturi normale [Periane -19].

Cele mai utilizate materiale, pentru aceste tipuri de piese, sunt aliajele din titan, nichel, aluminiu, cupru, oțel de scule, oțel inoxidabil etc., precum: Ti6Al4V, AlSi10Mg, Cu15Ni8Sn, oțel inoxidabil 316L, Inconel718 etc. Pe lângă aceste materiale, rezultate bune s-au obținut și în cazul folosirii unor metale prețioase biocompatibile, cum ar fi aurul și aliajele sale, iar numărul materialelor compatibile cu acest procedeu de fabricație este într-o continuă creștere.

2.2.1.1. Etapele fabricării unei piese prin procedeu SLM

La fel ca și în cazul celorlalte procedee de fabricație aditivă, și în acest caz etapele parcurse pentru fabricarea unei piese încep cu generarea modelului CAD tridimensional și se încheie cu obținerea piesei reale, după cum urmează:

- proiectarea asistată a modelului digital;
- convertirea fișierului CAD în format STL (Stereolitografie, Standard Triangle Language sau Standard Tessellation Language);
 - scopul principal al fișierului STL îl reprezintă codificarea geometriei suprafeței obiectului 3D, prin stratificare, în scopul reprezentării suprafeței desenului cu ajutorul unei rețele triunghiulare;
- importarea fișierului de către software-ul mașinii;
- corectarea eventualelor erori apărute, în principal, datorită conversiilor făcute;
- stabilirea tipului de suport și a formei acestora;
- realizarea setărilor mașinii;

- fabricarea modelului fizic;
- desprinderea modelului de pe masa mașinii;
- înlăturarea suportilor;

2.3. Cercetări privind rezistența la solicitările mediului ambiant și la coroziune a materialelor utilizate la construirea sistemelor energetice durabile, fabricate prin SLM [Lancea-18, Lancea-17-a, Sfera-13]

În anul 2013, autorul a câștigat un contract de cercetare internațional intitulat „Cercetări privind rezistența la coroziune a diferitelor materiale utilizate la construirea sistemelor energetice durabile” (*Researches about the Corrosion Resistance of Different Materials used for Building Sustainable Energy Systems - ReCoRDIM-SES*), în cadrul căruia a fost analizată rezistența la solicitările mediului ambiant și la coroziune a trei tipuri de materiale, obținute prin topire selectivă cu laser [Sfera-13].

Cercetările s-au realizat în Italia, la Agenția Națională pentru Energie, Mediu și Noi Tehnologii ENEA (Ente Nazionale per l'Energia, l'Ambiente e le Nuove Tecnologie), ENEA este una dintre cele mai importante instituții de cercetare din Italia, ale cărei activități sunt concentrate, în principal, pe studiul eficienței energetice a surselor de energie regenerabilă, a energiei nucleare și a noilor tehnologii de fabricație. Serviciile oferite acoperă toate modalitățile de testare a efectelor pe care le produce sarea și sarea topită asupra materialelor cu care aceasta intră în contact, de la teste de compatibilitate a materialelor, până la teste de eficiență, în condițiile utilizării lor la temperaturi ridicate.

Proiectul, la care se face referire în acest capitol, s-a desfășurat la unul dintre cele mai mari centre publice de cercetare din Europa: SOLTERM (Solare Termodinamico), situat în Casaccia. Facilitățile de cercetare oferite de centrul SOLTERM sunt canalizate pe două mari direcții:

- **Prova Colletori Solari (PCS):** În cadrul departamentului PCS se realizează testarea colectoarelor termici parabolici și a componentelor acestora la contactul cu sarea topită. Sarea, folosită ca agent termic, este compusă 60% din azotat de sodiu și

40% din azotat de potasiu. În cadrul colectorilor termici parabolici, sarea este topită sub acțiunea soarelui, putând atinge temperaturi de până la 550° C.;

- ➔ **MOLten Salt Experiments (MOSE):** Departamentul MOSE acoperă o gamă variată de analize, ce vizează studiul materialelor aflate într-un mediu salin sau în contact cu sarea topită. În acest departament, pot fi realizate teste de coroziune dinamică sau de analiză a microstructurii materialelor aflate în contact cu mediul salin.

În cadrul centrului de cercetare SOLTERM, echipa proiectului SFERA a supus la coroziune, în mediu salin, trei seturi de eșantioane, identice ca formă, dar fabricate din materiale diferite, cu scopul determinării rezistenței lor la coroziune, dar și a duratei lor de viață. În scopul obținerii acestor rezultate într-un timp cât mai scurt, s-a folosit un pachet software specializat pentru testarea accelerată a fiabilității, ce va fi descris în cele ce urmează.

Cercetările întreprinse în cadrul proiectului SFERA s-au realizat în departamentul MOSE.

2.3.1. Forma geometrică a eșantioanelor testate

Pentru proiectarea geometriei eșantioanelor, s-a ales o structură de tip Lattice, având celula de formă pătrată și grosimea pereților de 2mm și dimensiunile de gabarit indicate în figura 2.3. Atunci când a fost aleasă această formă a eșantioanelor, s-au avut în vedere două aspecte:

- ➔ acțiunea corozivă a mediului salin să aibă loc pe o suprafață cât mai mare;
- ➔ realizarea unor teste de rezistență la compresiune a structurii corodate.

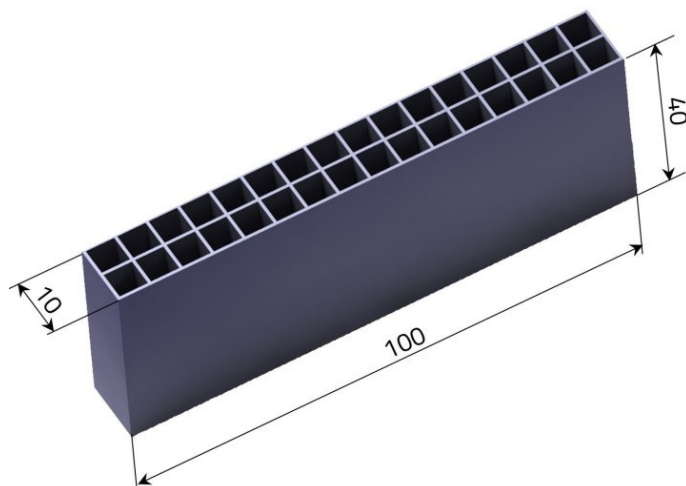


Fig. 2.3 Forma și dimensiunile pieselor analizate

Structurile Lattice se împart în două mari categorii (Fig. 2.4):

- structuri stohastice – structuri de tip spumă;
- structuri nestohastice – structuri plane sau spațiale.

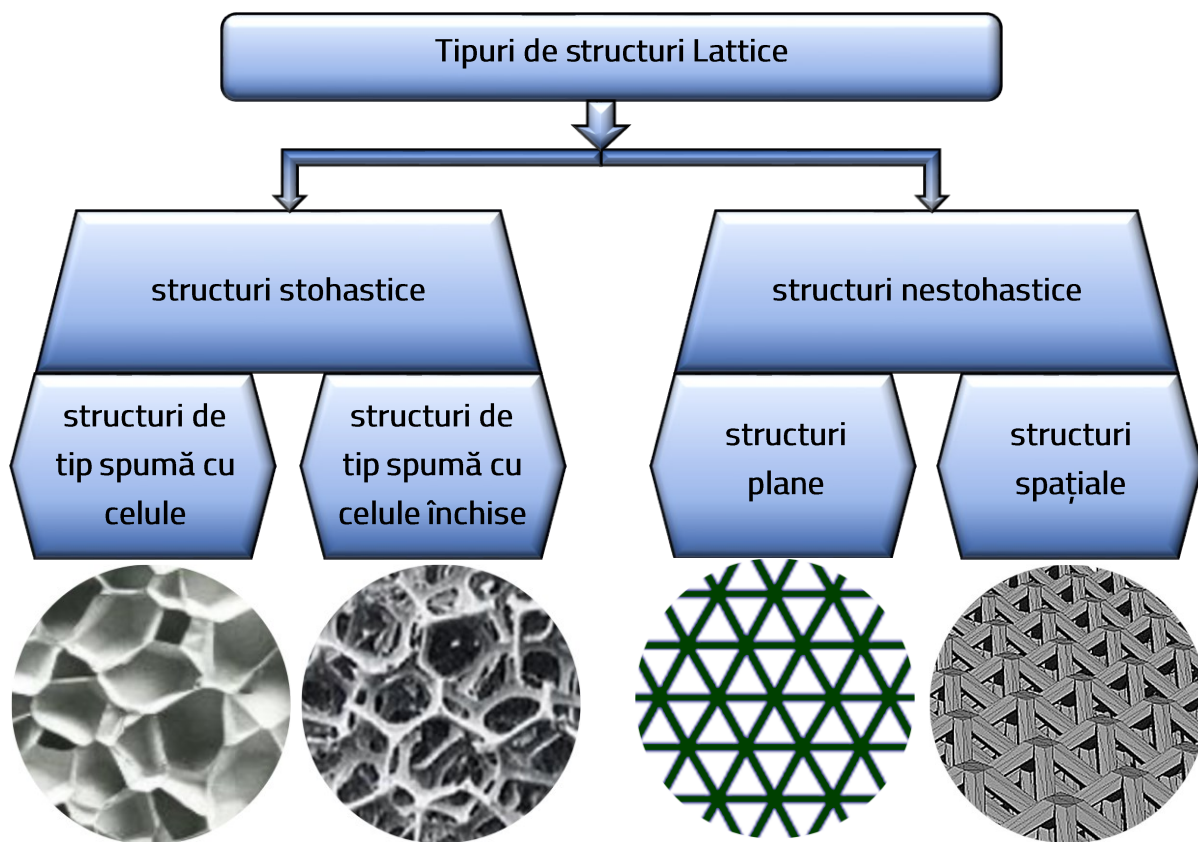


Fig. 2.4 Tipuri de structuri Lattice

Pentru forma eșantioanelor analizate, a fost aleasă o structură Lattice spațială.

2.3.2. Fabricarea eșantioanelor și materialele folosite

În cadrul proiectului SFERA, intitulat „*Cercetări privind rezistența la coroziune a diferitelor materiale utilizate la construirea sistemelor energetice durabile*” (ReCoRDIM-SES), au fost analizate comportamentul și durata de viață a trei seturi de eșantioane, fabricate din materiale diferite (aliaj de titan, aliaj de aluminiu și oțel), ce au fost supuse unor solicitări la temperaturi ridicate, la umiditate, la radiații UV, precum și la coroziune în mediu salin. Pentru a obține în timp scurt informații relevante despre evoluția fenomenului de coroziune, la nivelul tuturor eșantioanelor, este necesar să fie accelerat procesul de degradare al acestora. Acest lucru poate fi realizat prin utilizarea unor echipamente adecvate, cu ajutorul cărora se poate obține, într-un timp scurt, efectul acțiunii normale a factorilor corozivi de-a lungul unor perioade de luni de zile sau chiar de ani. Pentru a crește acuratețea rezultatelor și pentru a micșora durata de așteptare până la obținerea lor, se pot folosi sisteme software profesionale de testare accelerată a fiabilității (ART) și de testare accelerată a durabilității (ADT). În acest fel, nu mai este necesară menținerea eșantioanelor în mediul coroziv până la distrugerea lor, ci doar până la apariția primelor semne de coroziune pe suprafața acestora.



Fig. 2.5 Mașina de topire selectivă cu laser, SLM250HL

Cele trei tipuri de eșantioane au fost fabricate pe o mașină de topire selectivă cu laser SLM250HL (Fig. 2.5) și au următoarea compoziție chimică:

- eșantioanele din aliaj de titan: Ti6Al4V - Al: 5,5–6,5%, V: 3,5–4,5%, C: 0,08%, O: 0,13, N: 0,03%, Fe: 0,25%, H: 0,0125%, alte elemente 0,5%, Ti: restul până la 100%.
- eșantioanele din aliaj de aluminiu: AlSi12- Si: 12%, Fe: 0,4%, Cu: 0,05%, Mn: 0,05%, Mg: 0,05%, 0,1% Zn: 0,1% Ti: 0,2%, Al: restul până la 100%;
- eșantioanele din oțel: C: 0,12%, Mn: 2%, Ni: 10%, Si 1%, Po: 0,035%, S: 0,03%, Cr: 18%, Fe: restul până la 100%.

Toate eșantioanele testate au fost fabricate pe mașina de topire selectivă cu laser, SLM250HL (Fig. 2.5), cu următorii parametri principali:

- puterea laserului: 200 W;
- dimensiunea punctului focal: 100 μm ;
- grosimea stratului de depunere: 50 μm ;

2.3.3. Studii de caz analizate și infrastructura folosită

În cadrul proiectului ReCoRDIM-SES au fost analizate trei seturi de eșantioane, fiecare set fiind compus, la rândul său, din 12 eșantioane din același material. În continuare, fiecare dintre aceste seturi a fost împărțit în două părți egale, rezultând astfel șase seturi a câte șase eșantioane. Din cele șase seturi, s-au format două grupe identice, fiecare grupă având 18 eșantioane (câte șase din fiecare material).

Înainte de a începe testele propriu-zise, în cadrul proiectului a fost stabilit un grafic de testare accelerată pentru toate eșantioanele, repartizate în cele două grupe, după cum urmează:

- o parte din eșantioanele primei grupe au fost introduse succesiv în camera climatică ACS-Sunrise (Fig. 2.6 -a), unde au fost supuse la testări combinate, în

care au fost variate simultan (sau succesiv) temperatura, umiditatea și nivelul radiației ultraviolete;

- simultan, o parte din eșantioanele celei de-a doua grupe au fost testate accelerat într-un mediu salin controlat, utilizând pentru aceasta o cameră de testare cu atmosferă salină controlată (Fig. 2.6 -b). În acest caz, parametrii modificați au fost timpul de expunere al eșantioanelor și concentrația soluției saline.

Programul de testare a fost stabilit în detaliu, indicându-se metoda de aplicare a solicitărilor, nivelurile de solicitare, numărul eșantioanelor necesare pentru fiecare nivel de solicitare și un model statistic de testare accelerată, destinat furnizării de informații pentru un regim normal de testare, în funcție de rezultatele obținute în urma testării accelerate.



Fig. 2.6 Testarea prin încercări accelerate a eșantioanelor:

camera climatică ACS-Sunrise -a; cameră de testare cu atmosferă salină controlată -b

Pentru realizarea planului de testare accelerată, a fost necesară stabilirea următoarelor aspecte:

- graficul variației: Temperatură – Umiditate – radiație UV;
- numărul de produse supuse testării accelerate: seturi formate din 3 exemplare, câte unul din fiecare material;
- distribuția: Weibull;
- regimul solicitărilor accelerate.

Concluzionând, se poate afirma că în perioada derulării contractului ReCoRDIM-SES, membrii echipei au stabilit componența tuturor seturilor de eșantioane, în vederea testării lor, în regim accelerat. După aceea, s-a efectuat planificarea experimentelor și s-a stabilit perioada în care să fie realizate.

Ulterior, au fost procesate statistic toate datele obținute cu ajutorul sistemului software ALTA Pro 8. În urma acestei procesări statistice, au fost determinați parametrii de fiabilitate și au fost analizate modificările apărute la nivelul eșantioanelor, în urma solicitărilor accelerate la care au fost supuse.

După finalizarea testelor, au fost obținute informații concludente despre rezistențele corozive ale eșantioanelor analizate. Aceste informații au avut la bază o serie de analize ale microstructurii tuturor eșantioanelor, efectuate înainte și după testarea lor accelerată, cu ajutorul unui microscop electronic de scanare (Fig. 2.7).

2.3.3.1. Analiza microstructurii

Analizele morfologice, chimice și microstructurale ale eșantioanelor testate, au fost realizate cu ajutorul unui microscop electronic de scanare (SEM), cu o emisie de câmp de înaltă rezoluție (Fig. 2.7).



Fig. 2.7 Microscopul electronic de scanare LEO 1525 SEM

Principalele caracteristici ale microscopului electronic de scanare (SEM) sunt:

- rezoluția nominală de 1,5nm la 20kV și 3,5nm la 1kV, obținută pentru o distanță de lucru de 2 mm;
- factorul de mărire între 20x și 40.000x, care a permis, inclusiv, realizarea unor analize la nivel de micron.

Acest microscop utilizează o energie dispersivă de raze X (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy - EDX), care oferă atât informații calitative, cât și cantitative despre compoziția chimică a eșantionului. Pe lângă aceasta, SEM utilizează și un sistem EBSD (Electron Back Scattered Diffraction - Difrakție Electroni Retroîmprăștiați), care furnizează informații cristalografice despre microstructura eșantionului.

Sistemul EBSD are la bază un fascicul de electroni staționar, care interacționează cu un eșantion cristalin înclinat, iar electronii difracțiți formează un model care poate fi detectat cu un ecran fluorescent. Modelul de difracție este caracteristic structurii și orientării cristalelor în regiunea probei în care a fost generat. Cu ajutorul modelului de difracție, se

poate determina orientarea cristalografică în limita a 100nm, pentru a face deosebirea între fazele cristalografice, pentru a determina limitele grăunților și pentru a oferi informații despre structura cristalină locală.

2.3.3.2. Tehnici și echipamente folosite pentru analiza microdurității eșantioanelor

Pentru analiza microdurității, eșantioanele au fost tăiate transversal, iar fragmentele obținute au fost înglobate la rece în rășină epoxidică Dentacril. Aceste fragmente, înglobate în rășină, vor fi numite în continuare *probe*.

Dupa 24 de ore de la înglobare, a urmat pregătirea suprafeței în vederea determinării microdurității. Pregătirea suprafeței s-a realizat prin șlefuire, folosind un aparat Buehler Phoenix Beta Grinder (Fig. 2.8), în două etape:

- în prima etapă, șlefuirea s-a realizat pe hârtie abrazivă, pornind de la o granulație grosolană și avansând succesiv către granulația cea mai fină;
- în cea de-a doua etapă, lustruirea s-a realizat pe pâslă și pastă de alumina, cu o granulație de 0,05 μm .



Fig. 2.8 Aparatul Buehler Phoenix Beta Grinder

Pentru determinarea microdurității probelor, a fost utilizată metoda Vickers, ce se bazează pe măsurarea în diagonală a amprentei rezultate după presarea, cu o sarcină ușoară, a unei piramide de diamant, în grăunții materialului analizat.

Pentru obținerea unor rezultate corecte ale testelor de microduritate, este foarte important ca probele să aibă o suprafață netedă, fără zgârieturile rezultate în urma operației de tăiere.

Microduritatea probelor a fost determinată pe aparatul Micro Hardness Tester FM-700 (Fig. 2.9), prin aplicarea unei forțe de 100 gf, timp de 10 secunde, pe suprafața șlefuită a fiecărei epruvete. Duritatea fiecărei probe a fost determinată ca o medie aritmetică a zece măsurători.



Fig. 2.9 Aparatul Micro Hardness Tester FM-700

În continuare, vor fi prezentate solicitările la care au fost supuse eșantioanele, pentru fiecare material în parte, încheind cu rezultatele obținute și concluziile la care s-a ajuns.

2.3.3.3. Fabricarea aliajelor de titan Ti-6Al-4V prin SLM

Fabricarea aditivă (AM) a pieselor finite metalice este deja recunoscută ca o alternativă viabilă la alte procedee convenționale sau neconvenționale de fabricare a pieselor,

datorită capacității sale de a produce piese cu forme complexe, al căror raport dintre rezistență și greutate are o valoare mare [Atzeni -12].

În ultimii ani, AM a evoluat de la imprimante 3D simple, utilizate pentru prototiparea rapidă, în care majoritatea pieselor erau construite din materiale de tip polimer, până la sisteme sofisticate de fabricație rapidă, care sunt utilizate astăzi, din ce în ce mai mult, pentru fabricarea, într-o gamă diversă de materiale, a unor piese funcționale, fără a fi necesare scule sau dispozitive.

Un neajuns al procesului SLM îl reprezintă numărul deocamdată limitat de materiale: cobalt-crom, oțeluri inoxidabile, oțeluri de scule, aliaje de aluminiu, aliaje de aur, aliaje de nichel (precum Inconel 625 sau 718) și unele aliaje de titan. Numărul solicitărilor, pentru piesele fabricate din aliaje de titan, a crescut considerabil, fiind folosit cu precădere pentru aplicațiile medicale (datorită biocompatibilității lui) și aerospațiale (datorită rezistenței mecanice mari și a masei mici).

Până în acest moment, cel mai folosit aliaj de titan este Ti-6Al-4V. Din acest motiv, primele studii privind prelucrarea titanului și a aliajelor sale prin SLM s-au axat, cu preponderență, pe acest aliaj. Proprietățile acestui material au fost studiate pe larg, începând cu influența parametrilor procesului de fabricație (strategia de scanare folosită, puterea laserului, viteza de scanare etc.) asupra microstructurii; proprietățile mecanice la tracțiune ale acestuia; tratamentele termice recomandate pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice etc.

2.3.3.4. Analiza eșantioanelor din aliaje de titan Ti-6Al-4V fabricate prin SLM

Pentru determinarea rezistenței la coroziune a eșantioanelor din aliaje de titan, acestea au fost supuse succesiv la două tipuri de testări accelerate [Lancea-17a]: o parte au fost plasate într-un mediu umed și o altă parte într-un mediu salin. Trei eșantioane nu au fost testate deloc.

Fabricarea eșantioanelor

Materialul utilizat pentru piesele testate este Ti-6Al-4V, cu următoarea compoziție chimică: Al: 5,5–6,5%, V: 3,5–4,5%, C: 0,08%, O: 0,13, N: 0,03%, Fe: 0,25%, H: 0,0125%, alte elemente 0,5%, Ti: restul până la 100%. Piesele analizate (fig. 2.10) au fost fabricate pe o mașină de topire cu laser selectivă, SLM250HL, cu următorii parametri:

- puterea laserului: 200 W;
- dimensiunea punctului focal: 100 μm ;
- grosimea stratului de depunere: 50 μm ;
- viteza de construcție: 20 cm^3 / h ;
- temperatura platformei: 200 ° C;
- gaz inert: Argon 4,6 bar; 2 L / min;
- laser optic răcit cu apă și aer comprimat.

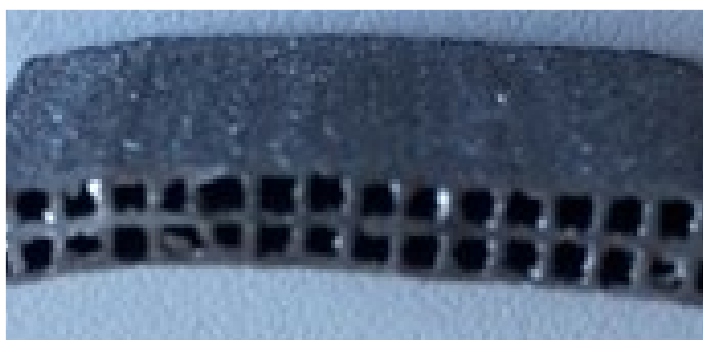


Fig. 2.10 Geometria piesele analizate

Descrierea caracteristicilor mediului coroziv utilizat

După fabricarea eșantioanelor, acestea au fost grupate în patru seturi.

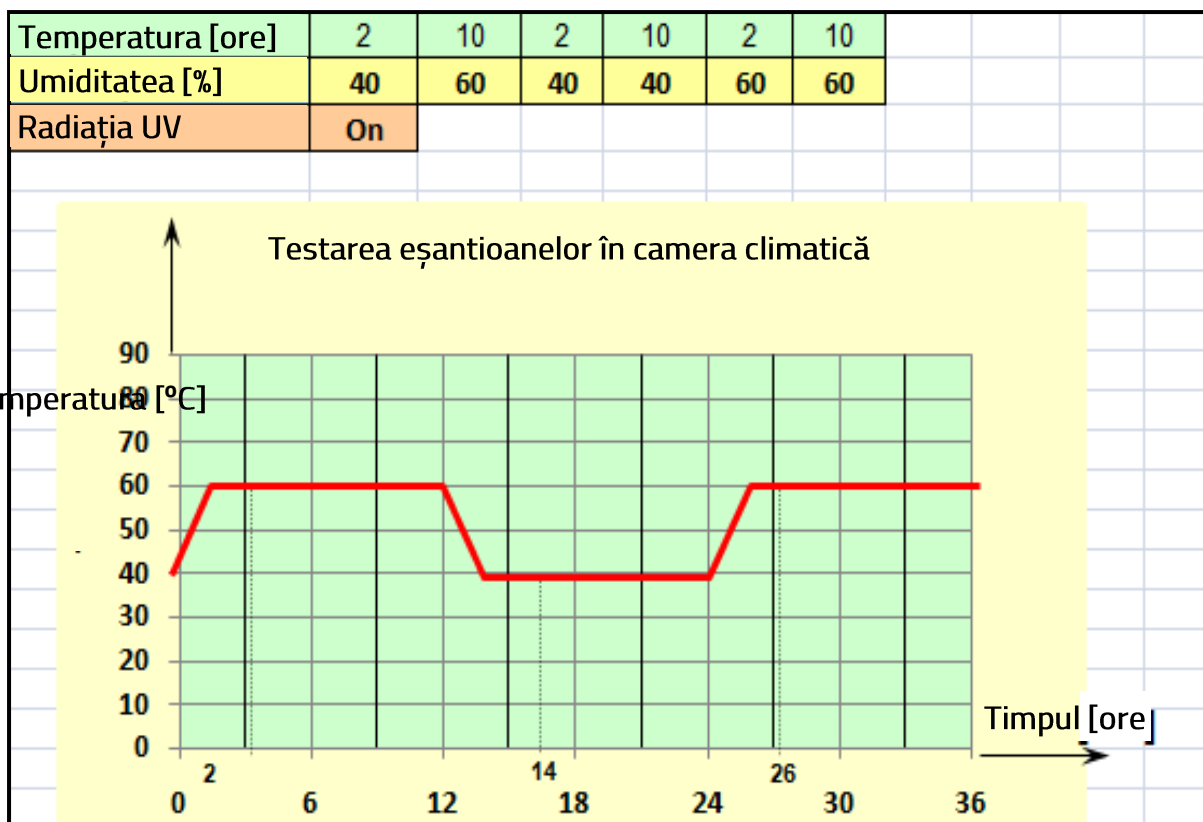


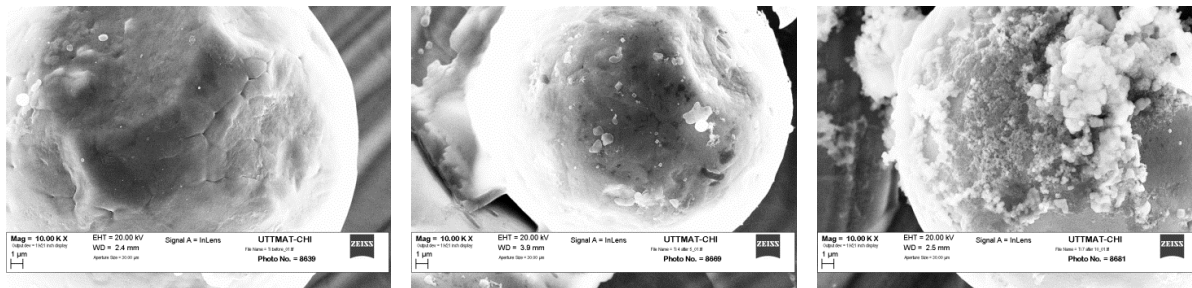
Fig. 2.11 Testare combinată: temperatură, umiditate și radiații ultraviolete

Fiecare set, compus din trei eșantioane, cu excepția primului (care a constituit elementul de referință), a fost plasat într-un mediu coroziv, după cum urmează:

- primul set de exemplare nu a fost supus testărilor;
- speciemenle celui de-al doilea set, au fost ținute în camera salină un timp de imersiune de 72 ore, într-o concentrație de 5% NaCl;
- la cel de-al treilea set de speciemenle, timpul de imersiune în camera salină a fost de 144 ore iar concentrația de NaCl a fost de 10%;
- al patrulea set de exemplare a fost supus unei testări combinate: temperatură, umiditate și radiații ultraviolete, într-o cameră climatică (Fig. 2.11).

Microstructura eșantioanelor înainte și după efectuarea testărilor accelerate

După finalizarea testelor de coroziune, probele au fost pregătite pentru analizarea microstructurii. Imaginile microstructurii, obținute cu un microscop SEM, au fost deosebit de utile pentru determinarea rezistenței la coroziune a eșantioanelor.

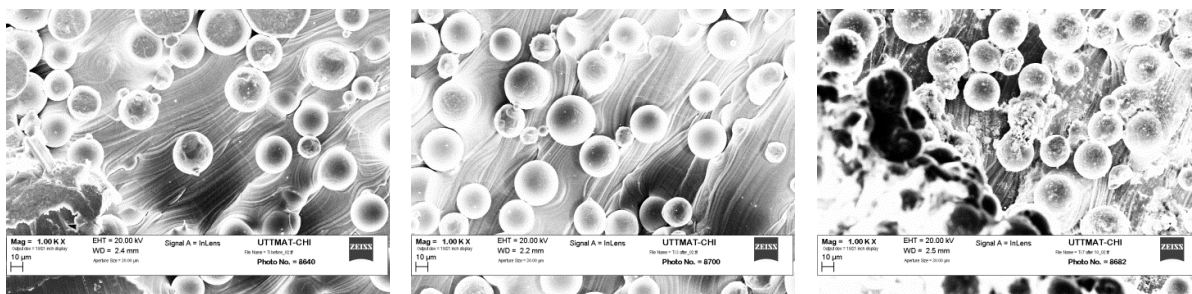


microstructura inițială

după 72 ore și 5% NaCl

după 144 ore și 10% NaCl

Fig. 2.12 Microstructura eșantioanelor înainte și după scufundare în camera salină cu factorul de mărire: 10.000 x.

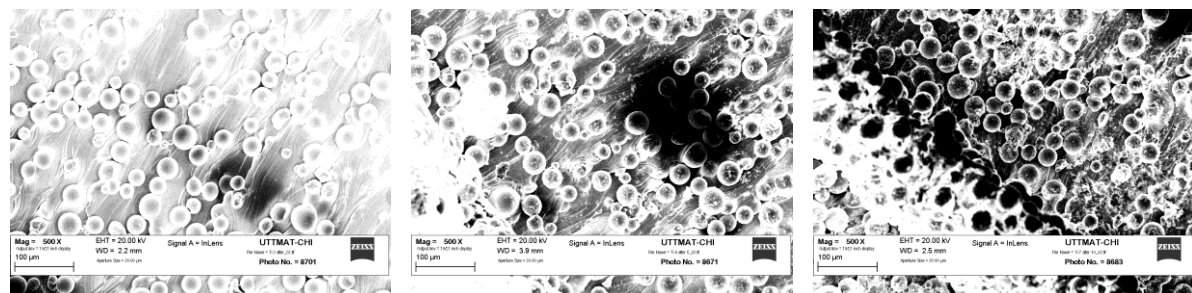


microstructura inițială

după 72 ore și 5% NaCl

după 144 ore și 10% NaCl

Fig. 2.13 Microstructura eșantioanelor înainte și după scufundare în camera salină cu factorul de mărire: 1.000 x.



microstructura inițială

după 72 ore și 5% NaCl

după 144 ore și 10% NaCl

Fig. 2.14 Microstructura eșantioanelor înainte și după scufundare în camera salină cu factorul de mărire: 500 x.

Rezultatele de mai sus (Fig. 2.12, Fig. 2.13, Fig. 2.14), prezintă modificările microstructurii acestora, în funcție de testările accelerate la care au fost supuse. În final, au fost analizate modificările microstructurale ale celor trei grupuri de eșantioane.

Microduratea eșantioanelor înainte și după efectuarea testărilor accelerate

În cadrul testului Vickers, când sunt folosite penetratoare cu unghiuri identice la vârf, se obțin și pe piesă urme de aceeași formă, indiferent de forța de încărcare aplicată, prin urmare se poate spune că microduratea este independentă de mărimea sarcinii aplicate.

Microduratea grupului I [HV]	Microdurate grup II 5%NaCl / 72h [HV]	Microdurate grup III 10%NaCl / 144h [HV]	Microdurate grup IV camera climatică [HV]
380.7	383.1	445.2	400.1
390.9	388.4	350.2	430.7
420.5	386.6	384.9	472.1
411.6	413.4	386.6	420.3
414.6	407.2	389.8	416.5
393.1	362.4	347.2	407.6
449.6	357.0	389.1	457.6
426.2	436.6	315.3	443.0
440.8	397.5	434.9	462.7

Tabelul 2.1 Valorile microdurateților celor patru grupuri de eșantioane

Datorită adâncimii mici de pătrundere în material, această metodă poate fi utilizată cu succes și pentru determinarea microdurateții pieselor cu dimensiuni mici, a pieselor cu pereți subțiri sau a pieselor ce au fost supuse tratamentelor termice – prin determinarea microdurateții stratului superficial. Pentru determinarea cât mai exactă a microdurateții au fost efectuate mai multe teste, fiind păstrate doar rezultatele cu valori apropiate.

Pentru o determinare corectă a microdurateții (Tabelul 2.1), toate eșantioanele au fost fabricate pe mașina SLM250HL cu aceiași parametri:

- puterea laserului 200 [W];

- viteza de scanare a laserului 150 [mm / s];
- distanța dintre două hașuri succesive de construire 0,12 [mm];
- grosimea stratului 50 [μm];

Analiza statistică a rezultatelor testelor de microduritate

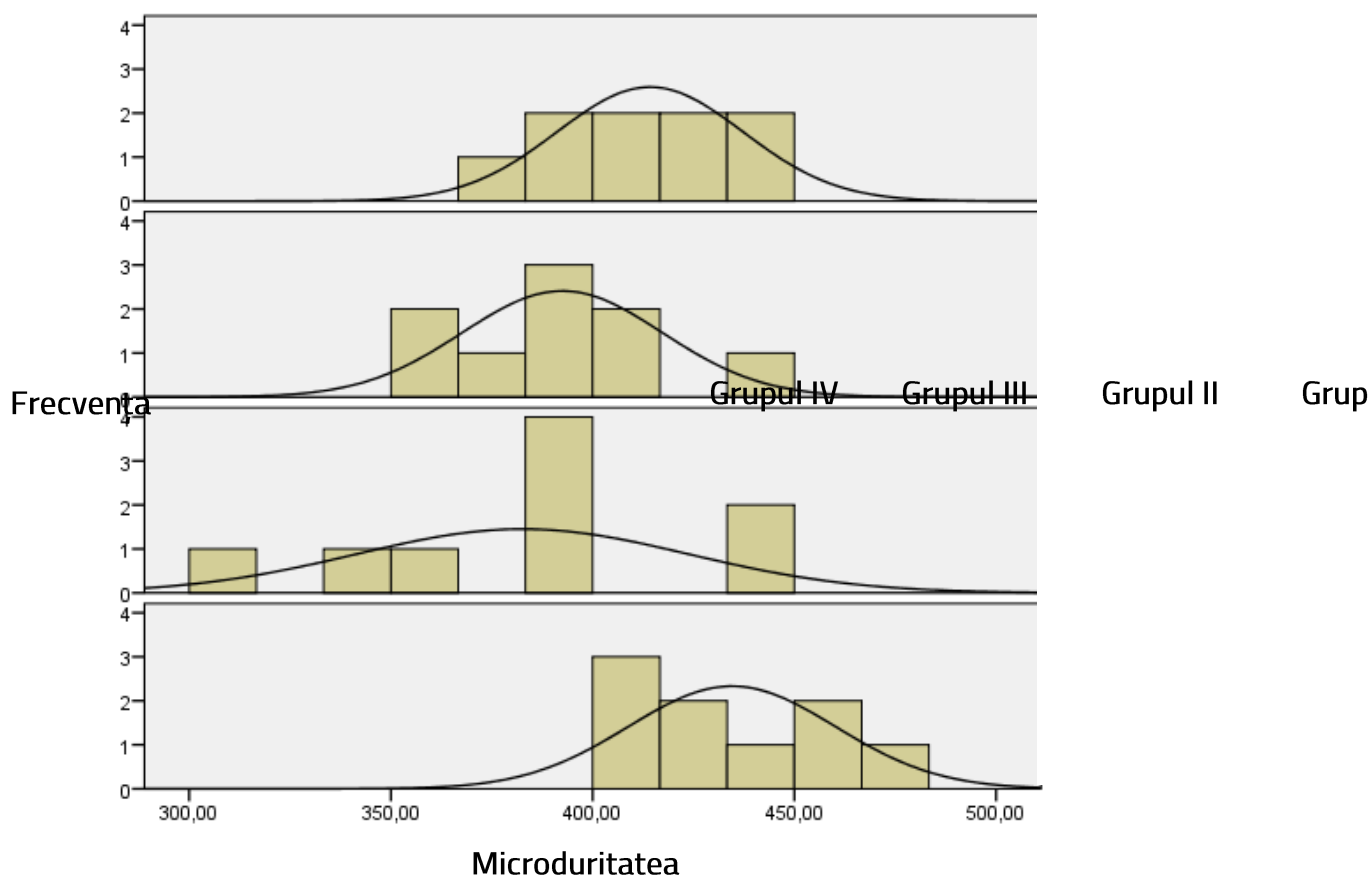


Fig. 2.15 Histogramele celor patru grupuri de probe analizate la testele de microduritate

Analiza statistică a testelor de micro-duritate, pentru toate epruvetele a fost realizată cu ajutorul programului SPSS Statistics 23. Rezultatele obținute au fost descrise folosind distribuțiile frecvențelor de apariție (Fig. 2.15). Deoarece media și mediana valorilor sunt relativ egale, pentru toate cele patru probe testate, putem spune că distribuția este normală, cu o ușoară asimetrie.

După determinarea tuturor microdurităților, au fost calculate valorile medii ale acestora, rezultând o valoare medie de 405,94 HV. În figura 2.16, se poate observa că o proporție

mare din valorile microdurității, pentru eșantioanele analizate, este rezumată în dreptunghiul descris de percentila 25 și percentila 75.

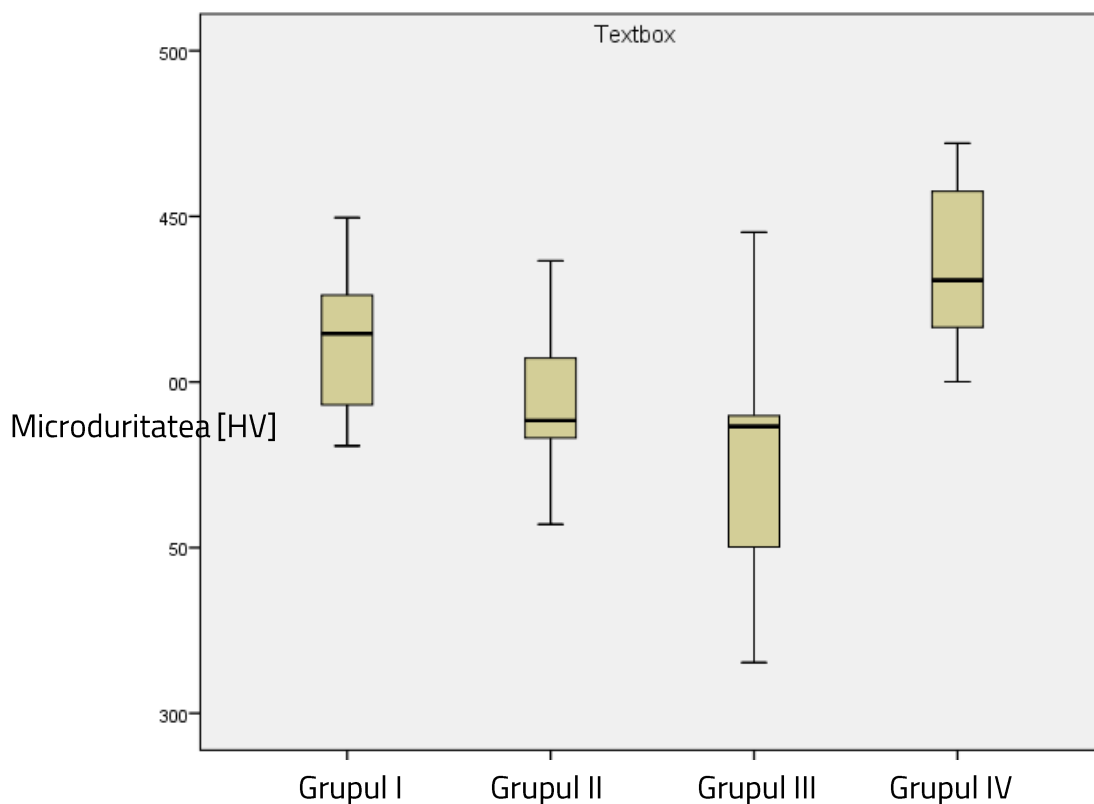


Fig. 2.16 Reprezentarea valorilor microdurității probelor testate

În tabelul 2.2, sunt descriși principalii indicatori statistici ai valorilor de microduritate pentru toate probele testate. Fiecare valoare a indicatorilor statistici, transmite o anumită cantitate de informații referitoare la datele pentru care au fost calculați. În urma analizei microdurității tuturor epruvetelor, indicatorii statistici oferă informații despre tendința centrală a valorilor seriei (medie, mediană și modul), alți indicatori ne oferă informații despre valorile de împrăștiere (dispersie, abatere standard și coeficient de variație), iar alții ne oferă informații despre valorile de simetrie din seria (mediană și quartila).

Grupul	1	2	3	4
Medie	414,22	392,46	382,57	434,51
Eroarea standard a mediei	7,69	8,27	13,74	8,54

Mediana		414,60	388,40	386,60	430,70
Mod		380,70	357,00	315,30	400,10
Abaterea standard		23,08	24,82	41,23	25,64
Variația		532,709	616,11	1700,20	657,73
Minim		380,70	357,00	315,30	400,10
Maxim		449,60	436,60	445,20	472,10
Suma		3728,00	3532,20	3443,20	3910,60
Percentila	25	392,00	372,75	348,70	412,05
	50	414,60	388,40	386,60	430,70
	75	433,50	410,30	412,35	460,15

Tabelul 2.2 Principalii indicatori statistici ai valorilor de microduritate

Concluzii

După finalizarea testelor și analizarea rezultatelor obținute, s-a ajuns la următoarele concluzii:

- exemplarele testate, în camera climatică Sunrise, nu au prezentat modificări semnificative ale caracteristicilor microstructurale;
- epruvetele testate, în camera cu atmosferă salină, prezintă unele modificări ale caracteristicilor microstructurale, putând fi observate particule de sare atașate de structura lor, datorită fenomenului de coroziune;
- din cauza fenomenelor de coroziune, microduritatea eșantioanelor introduse în camera salină scade;
- microduritatea eșantioanelor expuse în camera climatică, în care principalele solicitări au fost temperatura și umiditatea, a crescut datorită unei ușoare tratări termice a suprafeței.

2.3.3.5. Influența coroziunii asupra duratei de viață a aliajului AlSi10Mg fabricat prin SLM

Datorită importanței deosebite a titanului pentru aplicațiile din industria biomedicală, aerospațială sau cea a construcțiilor de autovehicule, o parte însemnată a literaturii de specialitate este axată pe aliajele de titan [Shunmugave-17]. Cu toate acestea, în ultima perioadă de timp și aliajele de aluminiu (AlSi10Mg, AlSi12Mg AlSi12 sau A6061) au început să fie din ce în ce mai mult studiate, datorită avantajelor tehnice pe care le oferă dar și din motive economice. Câteva dintre avantajele de necontestat ale pieselor fabricate prin SLM, din aliajele de aluminiu, ar putea fi următoarele:

- rezistență excelentă la coroziune;
- raporturi bune rezistență – greutate;
- rigiditate mare;
- greutate redusă;
- raporturi bune cost-rezistență (comparativ cu aliajele de titan);
- difuzibilitate termică ridicată;
- rezistența specifică ridicată;
- rezistență mare la tracțiune etc.

Microstructura aliajului AlSi10Mg, fabricat prin SLM, diferă complet de cea a materialelor fabricate prin turnare, fiind rezultatul final al fenomenului de topire – solidificare a pulberii aliate.

Datorită coeficientul mare de dilatare termică al aliajului de aluminiu (de aproximativ două ori mai mare decât cel al fontei), în timpul procesului de SLM, are loc o retopire parțială a stratului depus anterior, obținându-se astfel o densitate de aproape 100%, o omogenitate chimică mare și o microstructură uniformă și foarte fină.

Datorită proprietăților termice bune, dublate de greutatea redusă, acest material a început să fie folosit din ce în ce mai mult în industria aeronautică, automotive, a energiei regenerabile, la fabricarea carcaselor, a pieselor pentru motor, a radiatoarelor, a

conductelor, a matrițelor etc., atât pentru faza de prototipare, cât și pentru fabricarea de serie.

Este bine cunoscut faptul, că materialele utilizate, pentru fabricarea echipamentelor destinate producerii energiei alternative, sunt expuse la diverși factori corozivi, în primul rând datorită zonei în care funcționează. Acești factori pot fi aerul, umiditatea, apa sau atmosfera sărată, expunerea la temperaturi ridicate, datorită amplasamentului acestora în locuri însorite etc.

În acest studiu, va fi analizată rezistența la coroziune a aliajului AlSi10Mg, fabricat prin SLM [Lancea-18], precum și durata de viață a acestuia, în condițiile expunerii lui într-un mediu cu o concentrație salină mare.

Stabilirea planului de testare accelerată la coroziune

Testarea accelerată de degradare (TAD) a fost realizată pentru a estima durata de viață a eșantioanelor din AlSi10Mg, fabricate prin tehnologia SLM. Atunci când durata de viață a piesei, în condiții normale de utilizare, este foarte mare, o soluție, pentru scurtarea timpului de obținere a rezultatelor dorite, o constituie amplificarea factorilor ce duc la degradarea acesteia. În acest sens, testările accelerate s-au realizat pe un număr de 8 eșantioane, care au fost expuse la trei solicitări principale: de temperatură, umiditate și radiații UV, folosind pentru aceasta camera climatică ACS-Sunrise.

După aceea, aceleași probe au fost expuse și la alte tipuri de solicitări accelerate, prin introducerea lor într-un mediu salin (Fig. 2.17), obținut cu ajutorul unei camere de testare cu atmosferă salină controlată.



Fig. 2.17 Formarea depozitelor de sare pe suprafața eșantioanelor

Pentru creșterea preciziei estimărilor de degradare a eșantioanelor, prin testări accelerate, este necesară conceperea cu atenție a unui plan TAD. Obiectivul acestui plan este acela de a reduce la minimum incertitudinea extrapolărilor realizate pentru determinarea duratei de viață și a fiabilității eșantioanelor. În acest sens au fost determinate nivelurile optime de solicitare, ce urmează a fi utilizate în timpul acestor testări.

Mediul salin, în care au fost introduse toate eșantioanele fabricate, a fost realizat prin pulverizarea continuă a unei soluții saline. Pentru realizarea planului TAD, s-au stabilit următorii parametri:

- modelul de accelerare ales : Legea puterii inverse;
- numărul de produse supuse testării accelerate: 8;
- legea de repartiție: Weibull;
- regimul de testare accelerată: s-a realizat folosind o soluție de NaCl cu o concentrație 5% și 10%;
- numărul nivelurilor de solicitare: 2 (NaCl 5% și NaCl 10%);
- numărul exemplarelor testate pe fiecare nivel de accelerare: 4 (atât pentru primul cât și pentru cel de-al doilea nivel).

Software-ul ALTA 7 permite analiza degradării ulterioare prin utilizarea următoarelor modele de degradare: liniare, exponențiale, de putere, logaritmice, Gompertz și Lloyd-Lipow. În cadrul acestei lucrări a fost utilizat modelul de putere definit de următoarea ecuație:

$$y = b \cdot x^3 \quad (2-1)$$

unde: y este măsurarea degradării,

x este timpul de inspecție

a și b sunt parametrii modelului.

Rezultatele analizei accelerate de degradare

Analiza degradării este o tehnică deja consacrată, folosită pentru analizarea datelor privind degradarea unei caracteristici de calitate sau de performanță, ce este asociată cu fiabilitatea eșantioanelor analizate. Analiza degradării devine foarte utilă atunci când testele sunt efectuate pe eșantioane cu fiabilitate și durată de viață foarte mare, deoarece în acest caz, este extrem de dificilă testarea defectării acestora, în condiții normale de utilizare.

În continuare, au fost analizate și măsurate, cu mare precizie, depozitele de sare formate pe cele opt eșantioane din AISi10Mg, expuse unei testări accelerate în mediul salin. Piesele au fost analizate la fiecare 50 de ore, când au fost măsurate dimensiunile depunerilor de sare. Rezultate neconcludente au fost considerate cele în care o depunere de sare are o suprafață mai mare de 1 mm².

În tabelul 2.3 sunt prezentate datele de degradare accelerată, obținute pentru cele 8 piese din aliaj de aluminiu, după încheierea ciclului lor de testare în camera cu atmosferă salină controlată.

Datele experimentale, obținute din analiza degradării specimenului, au fost calculate folosind programul software ALTA7. În figura 2.18, au fost reprezentate rezultatele analizei de degradare a eșantioanelor din AISi10Mg. Linia reprezentată cu culoare mov, indică nivelul critic de degradare, care, în acest caz, este dat de suprafața unei depuneri de sare de 1 mm.

Timpul de inspecție [h]	Degradarea [mm ²]	Concentrație NaCl [%]	Grupul de piese
100	5	5	1
150	7	5	1
200	8	5	1
250	10	5	1
100	3	5	2
150	5	5	2
200	8.5	5	2
250	11	5	2
100	2	5	3
150	4	5	3
200	4.5	5	3
250	6	5	3
100	4	5	4
150	5	5	4
200	8	5	4
250	12	5	4
100	6	10	5
150	8	10	5
200	11	10	5
250	12.5	10	5
100	7.5	10	6
150	8	10	6
200	10.5	10	6
250	13	10	6
100	9	10	7
150	12	10	7
200	12.5	10	7
250	13	10	7
100	7	10	8
150	9.5	10	8
200	12.5	10	8
250	14	10	8

Tabelul 2.3 Datele de degradare accelerată ale celor 8 piese testate în camera salină

În condiții normale, determinarea indicatorilor durată de viață și fiabilitate, ar fi necesitat un timp de testare foarte lung, de aceea s-a decis utilizarea metodelor de testare accelerată. Utilizând modelul de degradare putere, datele privind degradarea specimenelor au fost extrapolate în timpii de defectare, care corespund testelor accelerate de fiabilitate.

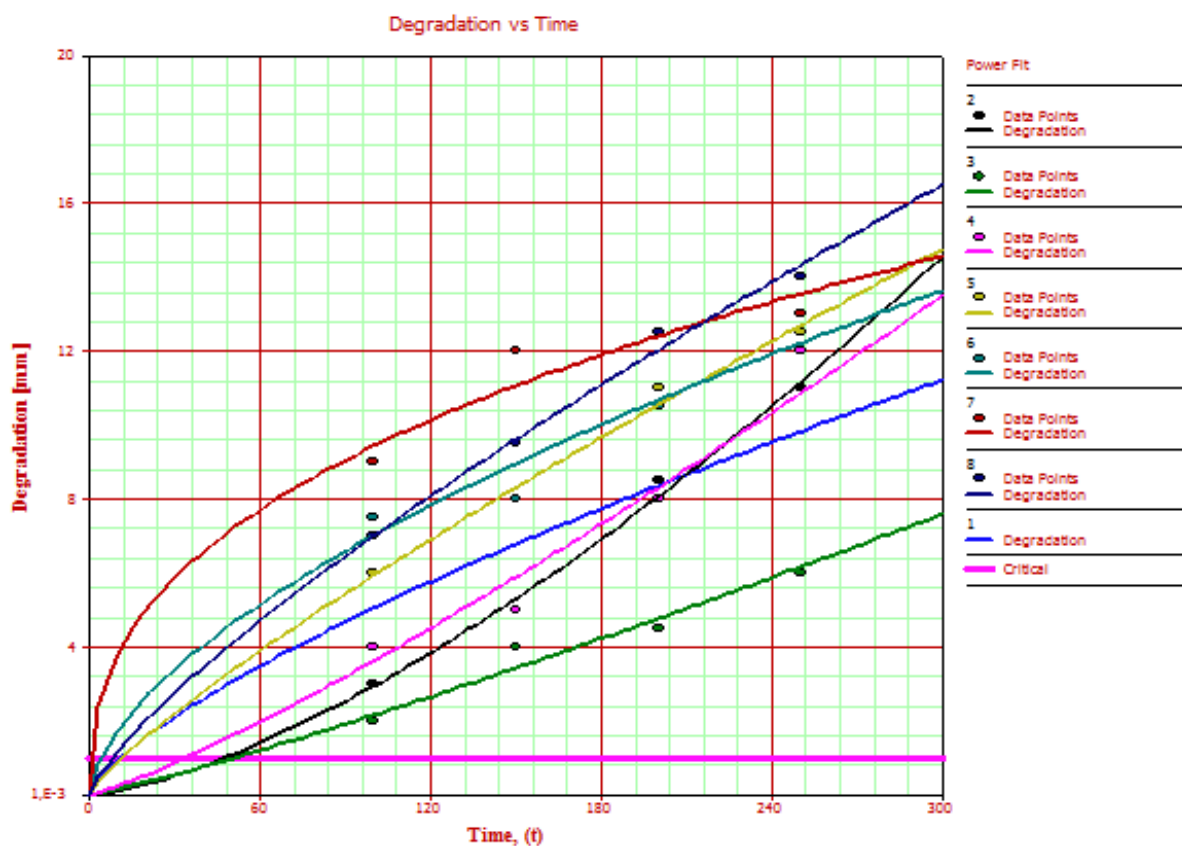


Fig. 2.18 Degradarea obținută în urma testelor accelerate în funcție de timpul de inspecție al specimenelor în mediu salin

Scopul principal al acestor teste, este acela de a scurta perioada de timp și costurile aferente testării, menținând în același timp modurile, mecanismele de defecțiune și defectele structurilor. În cadrul testelor accelerate, este acceptată ipoteza, că viteza de desfășurare a proceselor crește, atunci când cresc condițiile de solicitare.

În cadrul acestui studiu, concentrația de clorură de sodiu a fost amplificată până la valoarea de 5%, fiind apoi crescută la 10%. În continuare, au fost determinați principalii indicatori de fiabilitate:

- funcția de fiabilitate;
- funcția de nonfiabilitate;
- rata de defectare;
- densitatea de probabilitate a timpului de funcționare.

Pentru aceasta, s-a ales un regim de utilizare normală a eșantioanelor într-un mediu salin, similar cu cel existent în apropierea mărilor și a oceanelor, ce prezintă o concentrație de 0,05% NaCl.

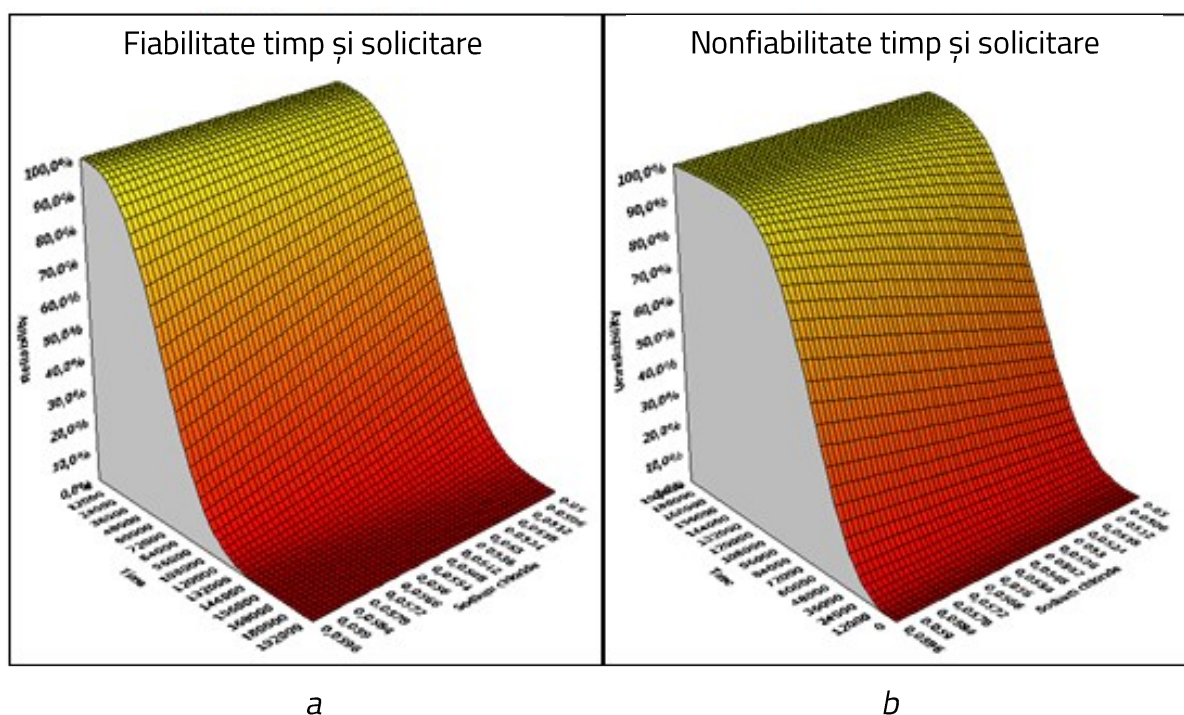


Fig. 2.19 Indicatori de fiabilitate: *a* – funcția de fiabilitate; *b* – funcția de nonfiabilitate

Pentru analiza datelor privind testele de fiabilitate accelerată, au fost utilizate modelul legii puterii inverse și repartiția statistică Weibull.

Timpii de defectare [h]	Fiabilitatea	Nonfiabilitatea	Funcția densitate de probabilitate	Rata de defectare
25618	0.917	0.083	0.0000018	0.0084797
59468	0.798	0.202	0.0000077	0.0384816
88699	0.679	0.321	0.0000109	0.0838695
88786	0.559	0.441	0.0000109	0.0840343
100921	0.44	0.56	0.0000106	0.1087693
108977	0.32	0.68	0.0000098	0.1272086
139245	0.201	0.799	0.0000049	0.2117118
140272	0.083	0.917	0.0000048	0.2150201

Tabelul 2.4 Dependența dintre timpii de defectare și principalii indicatori de fiabilitate

Folosind prelucrarea statistică a datelor accelerate, principalii indicatori de fiabilitate au fost determinați pentru timpii de defectare rezultați în condiții normale de utilizare. (tabelul 2.4). Folosind valorile calculate (numărul de ore de funcționare în condiții normale), a fost reprezentată funcția de fiabilitate tridimensională (fig. 2.19 -a) și funcția de nonfiabilitate tridimensională (fig. 2.19 -b).

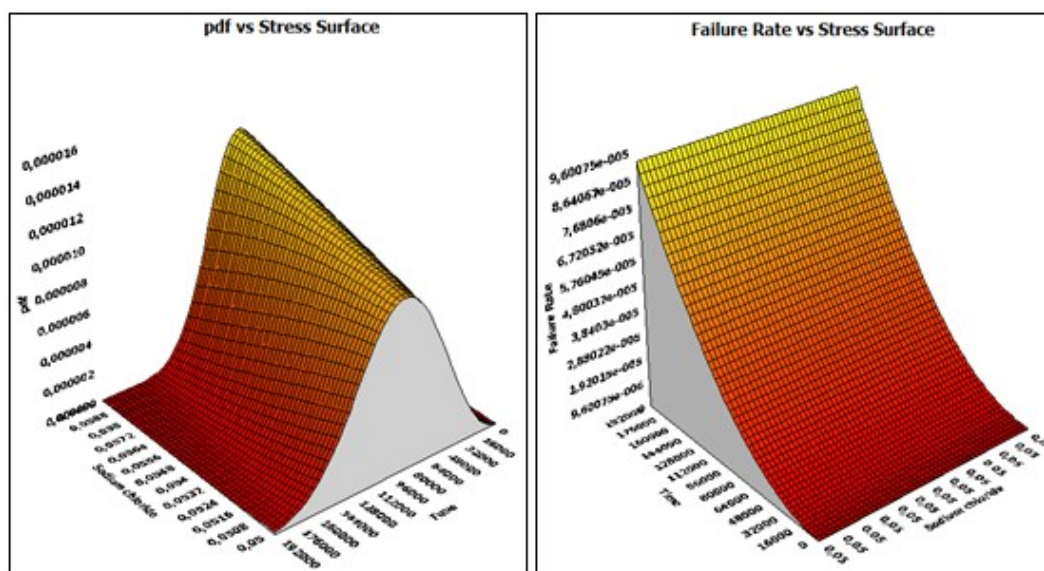


Fig. 2.20 Indicatori de fiabilitate: a – funcția PDF; b – rata de defectare

Indicatorul densitate de probabilitate reprezentat tridimensional (fig. 2.20 -a), reprezintă frecvența relativă a defectelor, în funcție de timp și de solicitarea aplicată. Graficul

tridimensional al ratei de defectare (fig. 2.20 -b), exprimă raportul dintre numărul de defectări, care au loc în unitatea de timp la un moment dat și numărul de specimene rămase în funcționare, la acel moment. Scopul principal al acestei testări accelerate de fiabilitate, este acela de a determina durata medie de viață a eșantioanelor, în condiții normale de exploatare.

Folosind datele rezultate în urma testelor de fiabilitate accelerată efectuate, s-a putut determina durata medie de viață a eșantioanelor analizate, în condiții normale de utilizare, la o concentrație salină de 0,05% NaCl.

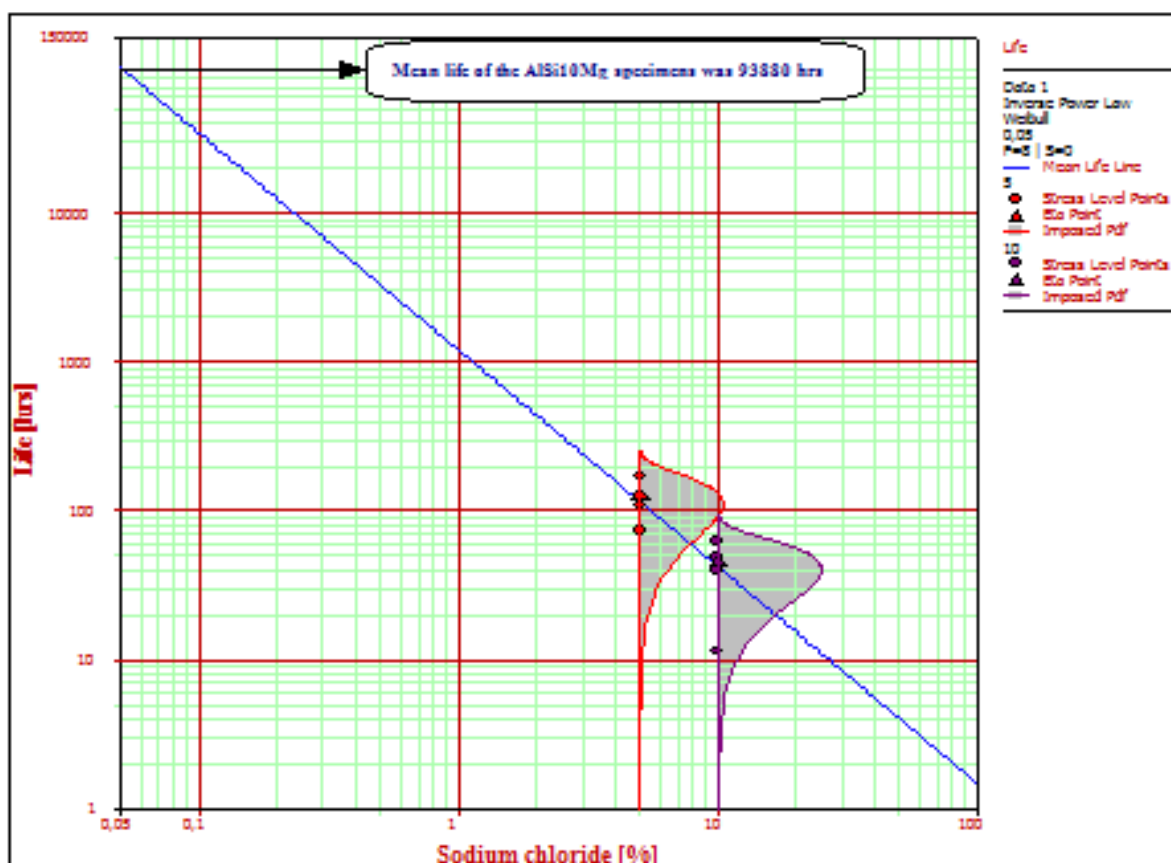


Fig. 2.21 Durata medie de viață a eșantioanelor în condiții normale de utilizare

Pentru a afla numărul mediu de ore până la distrugerea eșantioanelor, în condiții normale de utilizare (Fig. 2.21), s-a desenat o linie, ce trece prin numărul mediu de ore până la distrugere, calculat pe cele 2 niveluri de încercări (5% NaCl și 10% NaCl) și s-a marcat punctul de intersecție al acestei linii cu linia verticală, trasată la nivelul normal de expunere a eșantioanelor (de 0,05% NaCl). În acest fel, s-a obținut numărul total al orelor

de exploatare în condiții normale a eșantioanelor, până la distrugerea lor, ca fiind de 93880 h (aproximativ 10 ani și jumătate).

Analiza coroziunii eșantioanelor

Pentru obținerea unor informații cât mai relevante, privind rezistența la coroziune a eșantioanelor, au fost realizate analizele morfologice, chimice și microstructurale ale materialului, la rezoluții înalte. Pentru aceasta, s-a folosit un microscop electronic de scanare *LEO 1525 SEM*, care utilizează o emisie de câmp cu rezoluție înaltă și o energie de raze X cu dispersie după energie (EDX), ce permite realizarea următoarelor analize de microstructură:

- imagistica rapidă, de înaltă rezoluție, cu identificarea calitativă și cantitativă a compoziției chimice;
- analiză cantitativă EDX (EDA), rezolvată spațial, a zonelor definite de utilizator de pe suprafața eșantionului;
- caracterizarea particulelor și a defectelor;
- examinarea efectelor structurii și a segregării grăunților;
- caracterizarea structurilor materialelor;
- evaluarea interfețelor de reacție a mediului de serviciu și a mecanismelor de degradare.

Microscopul este echipat și cu un sistem EBSD, ce poate fi folosit pentru:

- maparea cristalografică a probelor;
- identificarea rapidă a fazelor cristalografice;
- monitorizarea transformărilor structurale ale probelor;
- determinarea dimensiunilor și a orientării grăunților.

Piesele testate în camera cu atmosferă salină, prezintă modificări semnificative la nivelul caracteristicilor microstructurale, având particule de sare, ce au aderat la structura lor. Următoarele figuri (Fig. 2.22 și Fig. 2.23), prezintă modificările microstructurii materialului analizat, înainte și după introducerea lui în camera salină.

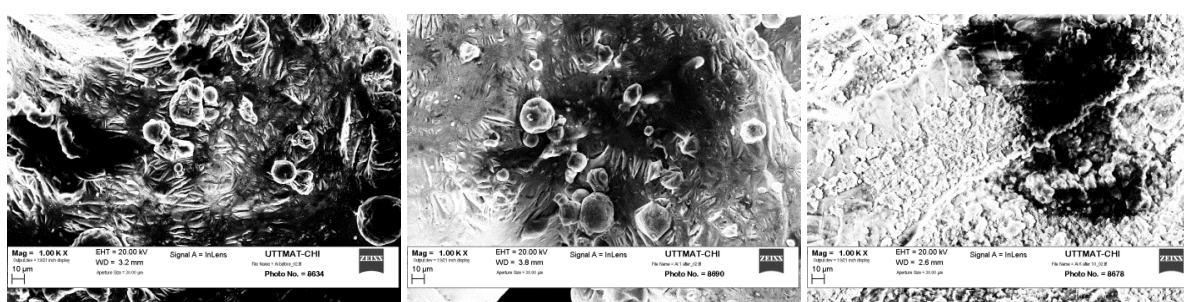


microstructura inițială

după 72 ore și 5% NaCl

după 144 ore și 10% NaCl

Fig. 2.22 Microstructura eșantioanelor înainte și după scufundare în camera salină, cu factorul de mărire: 10.000 x.



microstructura inițială

după 72 ore și 5% NaCl

după 144 ore și 10% NaCl

Fig. 2.23 Microstructura eșantioanelor înainte și după scufundare în camera salină, cu factorul de mărire: 1.000 x.

Analiza pierderii în greutate a eșantioanelor

O altă determinare efectuată în cadrul acestui studiu, urmărește identificarea pierderii de masă a eșantioanelor ($\Delta m = m_i - m_{i+1}$), după imersiunea lor în soluția salină, cu o concentrație de NaCl de 10%. Experimentul a fost realizat pe parcursul a 54 de zile și a constat în extragerea și cântărirea epruvetelor, la intervale de timp specifice, prezentate în figura 2.24.

Exemplele analizate au următoarele caracteristici:

- Dimensiuni: 100 mm × 40 mm × 10 mm;
- Suprafață: 376,1 cm²;
- Densitatea aliajelor AlSi10Mg: 2,68g / cm³

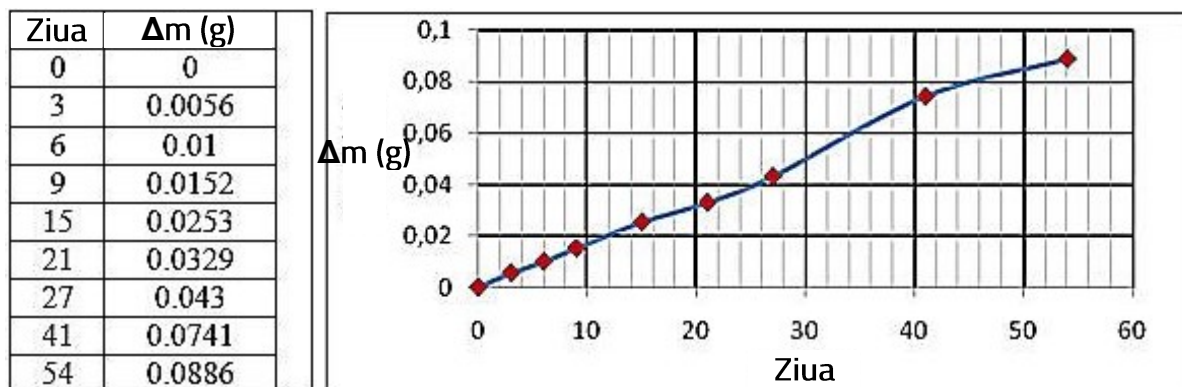


Fig. 2.24 Pierderea în greutate a eșantioanelor în 54 de zile

2.4. Influența tratamentului termic asupra microstructurii și a proprietăților mecanice ale pieselor din TiAl6V4, fabricate prin SLM [Lancea-20, Lancea-17b]

În anul 2017, autorul a câștigat un contract UEFISCDI - PNIII, intitulat „Învățarea și înțelegerea tehnicilor de fabricație prin Topire Selectivă cu Laser (SLM) cu scopul dobândirii competențelor necesare exploatării mașinii SLM250HL la un nivel avansat”, în cadrul căruia a fost analizată influența tratamentului termic asupra microstructurii și a proprietăților mecanice ale pieselor din TiAl6V4, fabricate prin topire selectivă cu laser.

Cercetările s-au realizat în Germania, la sediul firmei SLM Solutions Group AG, din Lübeck, Germania și în cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov.

2.4.1. Materialul probelor

Pentru fabricarea celor șase probe identice, s-a ales o pulbere de titan Grade 23 (cunoscută și sub denumirea de TiAl6V4 ELI), care este versiunea de înaltă puritate (având gradul 5) a aliajului TiAl6V4. La nivel mondial, acest aliaj este cel mai folosit aliaj pe bază de titan și are următoarea compoziție chimică, exprimată în procente: Al: 5,5–6,5%, V: 3,5–4,5 %, C: 0,08%, O: 0,13, N: 0,03%, Fe: 0,25%, H: 0,0125%, Ti: restul până la 100%, alte elemente 0,5%.

2.4.2. Geometria probelor

Pentru acest studiu, au fost fabricate șase probe identice. Forma geometrică a probelor are la bază o structură Lattice (Fig. 2.25 -b), obținută prin multiplicarea tridimensională a unei celule de bază (Fig. 2.25 -a).

Celula este compusă din trei triunghiuri dreptunghice isoscele (Fig. 2.25 -a), având catetele de 25mm, dispuse în trei plane rectangulare. Suprafața cilindrică are un diametru de 5mm. Pentru obținerea geometriei finale a probelor, celula a fost multiplicată de câte trei ori pe cele trei direcții ortogonale, astfel încât dimensiunile probei au devenit de 75 mm x 75mm x75mm (Fig. 2.25 -b). Dimensiunile măsurate ale unei probe, au fost comparate cu dimensiunea nominală, preluată din fișierul CAD, iar rezultatele (de-a lungul celor trei axe) au arătat o abatere geometrică de aproximativ 0,03 mm.

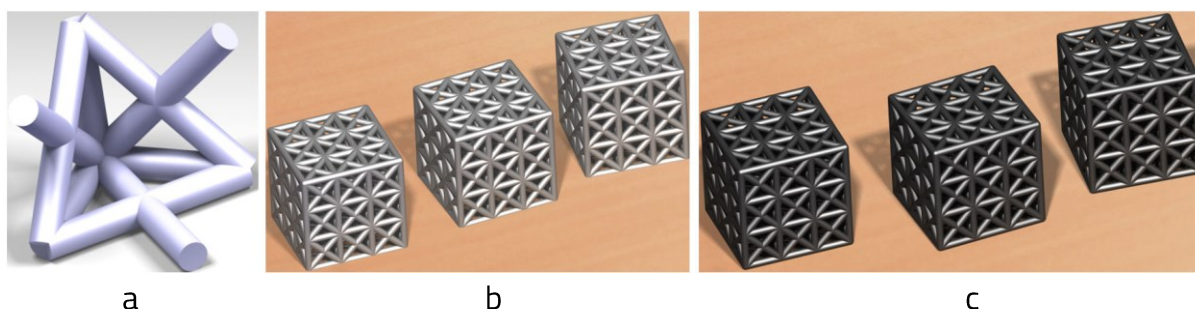


Fig. 2.25 Geometria probelor: celula –a; probele construite –b; probele tratate termic –c.

2.4.3. Fabricarea probelor

Probele au fost produse la sediul firmei SLM Solutions Group AG, în Lübeck, pe o mașină SLM125 dotată cu un singur laser de 400 W. Parametrii de lucru au fost următorii:

- viteza de scanare: 2 m/s;
- puterea totală a laserului: 250 W;
- distanță dintre hașuri: 140 μm ;
- grosime a stratului de pulbere: 40 μm ;
- fabricația s-a realizat într-o atmosferă de argon, cu mai puțin de 0,1% oxigen;
- placa de construcție a fost menținută la o temperatură de 35° C.

Pentru a obține probe de bună calitate, cu densitate mare, [Huang-15], straturile de pudră au fost scanate după un model în zig-zag, care a fost rotit cu 90° , după expunerea fiecărui strat. Dimensiunea punctului focal a fost de $80\ \mu\text{m}$, iar procesul de construcție a fost realizat într-o atmosferă de argon, cu mai puțin de 0,1% oxigen. Platforma de construcție a fost menținută temperatura de 35°C . Pentru îmbunătățirea proprietăților mecanice și micșorarea tensiunilor interne [Vrancken -12], trei dintre probe au fost supuse unui tratament de omogenizare la 850°C , timp de 2 ore, urmat de răcirea cuptorului.

2.4.4. Analizarea microstructurii probelor

Pentru analizarea microstructurii, cele două seturi de probe: tratate termic și netratate termic, au fost tăiate transversal, pe o mașină pentru debitat probe metalografice cu discuri diamantate. Acestea au fost apoi înglobate la rece într-o rășină Dentacril. După 24 de ore de la înglobare, suprafața a fost pregătită pentru analizarea microstructurii materialului, prin șlefuire, în două etape:

- în prima etapă, șlefuirea s-a realizat pe hârtie abrazivă încărcată cu carbură de siliciu (SiC), pornind de la granulația grosolană ($350\ \mu\text{m}$), succesiv spre granulația cea mai fină ($70\ \mu\text{m}$). Ca mediu de răcire, dar și pentru îndepărtarea surplusului de material rezultat în urma șlefuirii, s-a folosit apa dedurizată;
- în cea de-a doua etapă, eșantioanele au fost lustruite pe pâslă și pastă de alumină, Al_2O_3 ($0,05\ \mu\text{m}$). Particulele de Al_2O_3 au o duritate mai mică, comparativ cu cele din SiC, iar efectele lor abrazive le recomandă pentru șlefuirea aliajelor speciale lustruirea s-a realizat pe pâslă și pastă de alumină, cu o granulație de $0,05\ \mu\text{m}$.

Șlefuirea eșantioanelor s-a realizat pe aparatul Buehler Phoenix Beta Grinder (Fig. 2.8).

După șlefuire, eșantioanele au fost spălate cu apă (pentru îndepărtarea urmelor de material abraziv) și apoi au fost bine uscate (pentru eliminarea efectelor de oxidare sau corodare). În final, suprafața șlefuită a fost atacată cu aqua regia (un amestec de 30 ml HCl 10 ml HNO_3), pentru evidențierea structurii materialului.

Analiza microstructurii a fost realizată folosind un microscop optic Nikon Eclipse MA 100.

Această analiză a fost realizată pentru a studia modificările microstructurale apărute în urma tratamentului termic. Probele construite (Fig. 2.26 -a), au o structură martensitică aciculară fină (faza α), ca urmare a vitezei mari de răcire impuse de procesul SLM [Wauthle-15]. Porii sferici mici (Fig. 2.26 -a), indică o viteză bună de scanare în cadrul procesului SLM. Probele tratate termic au o structură îmbunătățită, mult mai uniformă, unde martensita α a fost transformată în faze $\alpha + \beta$ mai stabile, cu regiuni albe (date de faza α) și zone întunecate (date de faza β) (Fig. 2.26 -b).

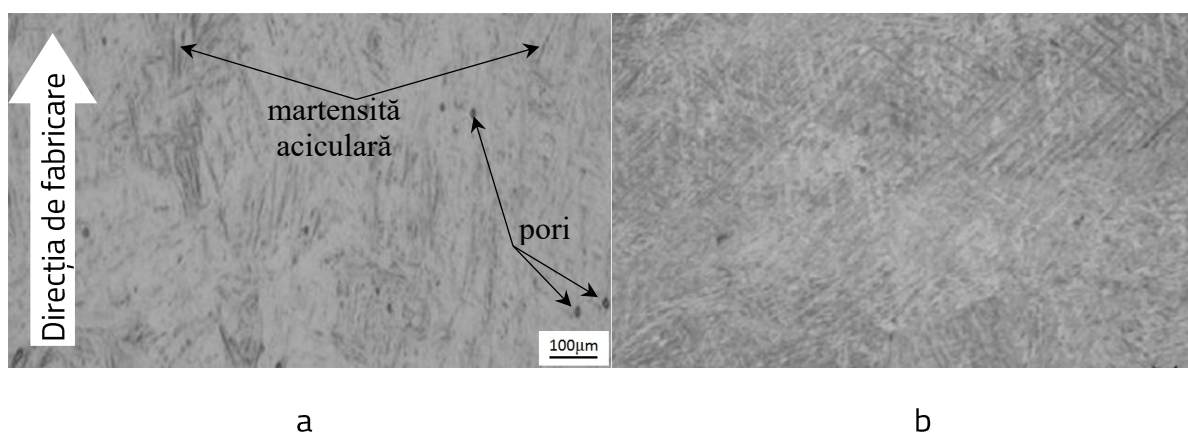


Fig. 2.26 Microstructura probelor: netratate termic -a; tratate termic -b.

2.4.5. Analizarea proprietăților mecanice ale probelor

În cadrul acestui capitol, a fost analizată rezistența la compresie a probelor înainte și după ce au fost supuse tratamentului termic de detensionare.

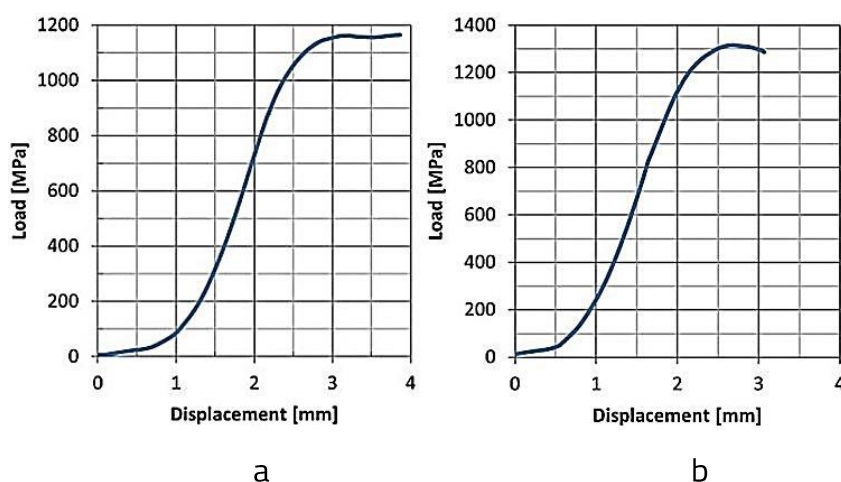


Fig. 2.27 Diagrama de compresie: probe netratate termic -a; probe tratate termic -b.

Pentru determinarea rezistenței la compresiune, capetele epruvetelor au fost curățate, așezate în poziția de fabricație și supuse unei compresiuni uniaxiale cvasistatice. Testele au fost efectuate pe o mașină de testare universală WDW-150S, cu o viteză de deplasare a traversei mobile de 2 mm / min, conform standardelor ASTM [ASTM-09]. În acest sens, probele au fost așezate cu atenție în centrul mesei pe mașină, pentru a asigura o încărcare uniformă, iar diagrama de compresiune, rezultată în urma acestor încercări, este prezentată în figura 2.27.

Un studiu comparativ, privind rezistența la compresiune a probelor, a fost realizat și utilizând software-ul de analiză cu elemente finite, ANSYS Workbench 19 R3 (Fig. 2.28). Pentru discretizarea modelului, s-au utilizat elemente de tip TET10 de 5 mm. Mesh-ul a fost compus din 1.244.206 noduri și 616.852 elemente, iar rezultatele FEA sunt foarte apropiate de rezultatele determinate experimental (Fig. 2.27 și 2.28).

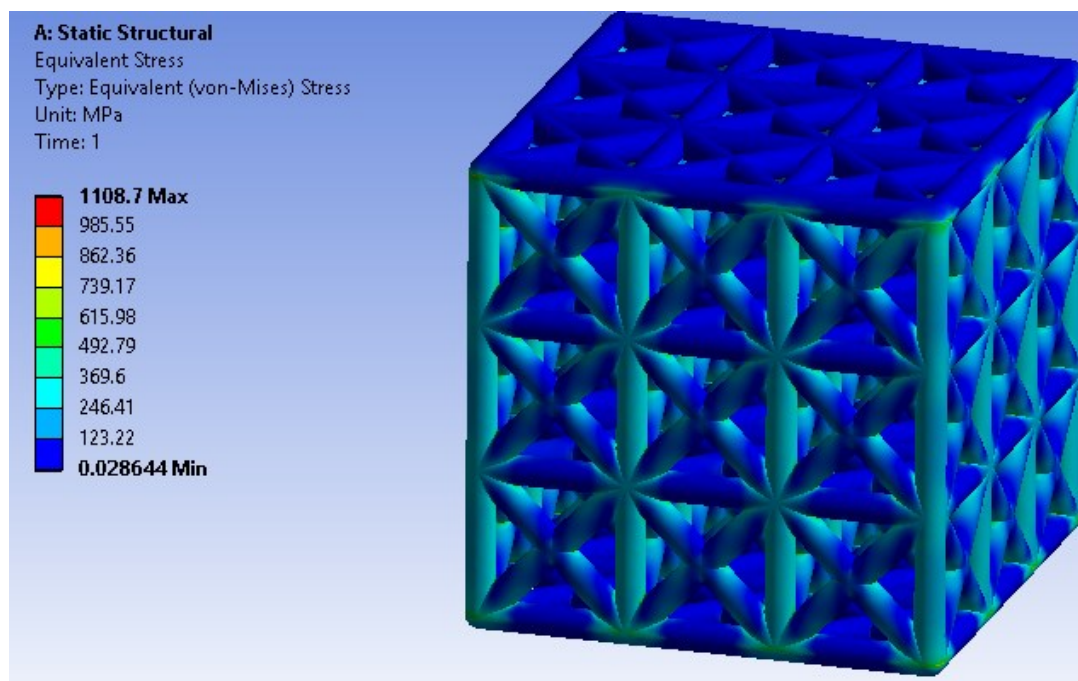


Fig. 2.28 Testarea la compresiune a probelor folosind FEA

2.4.6. Interpretarea rezultatelor

Analizând microstructura celor două seturi de probe, tratate și netratate termic, s-a constatat că tratamentul termic favorizează obținerea unei structuri mult mai uniforme,

cu pori mai puțini și faze mai stabile. În același timp, probele tratate termic au dovedit și o rezistență mai bună la compresiune. În aceste condiții, se poate concluziona că tratamentul termic de omogenizare al pieselor fabricate din TiAl6V4, prin SLM, este recomandat, atunci când se dorește omogenizarea structurii interne a materialului și creșterea rezistenței sale mecanice.

Concluzii

Realizările profesionale acumulate de la finalizarea tezei de doctorat până în prezent, au la bază doi piloni, pe care a fost construită, etapă cu etapă, evoluția mea în domeniile didactic și științific:

- experiența acumulată de-a lungul anilor, prin participarea la: cursuri de specializare; burse de cercetare și documentare în străinătate; schimburi de experiență cu colegi de la universități din țară și străinătate; mobilități de predare efectuate la universități din străinătate, în cadrul unor proiecte CEEPUS; prin colaborările avute cu firme importante din mediul industrial etc;
- dezvoltarea profesională concretizată prin: lucrările publicate în jurnale; participările la conferințe internaționale; granturile naționale și internaționale câștigate; cărțile publicate; coordonarea lucrărilor de diplomă și de disertație; prin organizarea la Departamentul de Ingineria Fabricației a unei conferințe studentești internaționale, în data de 28.03.2006, din al cărei prezidiu au făcut parte și personalități din conducerea INA Schaeffler; organizarea Workshop-ului intitulat „Fabricație Inovativă”, organizat de catedra TCM a Universității Transilvania din Brașov, în calitate de membru în colectivul de organizare etc.

În cele ce urmează, vor fi prezentate pe scurt și în ordine cronologică, rezultatele cercetărilor științifice originale, pe care le-am obținut după conferirea titlului de doctor din anul 2003. Aceste rezultate se încadrează în domeniul ingineriei industriale și au constituit suportul de bază al acestei teze de abilitare.

În cadrul direcției de cercetare privind *generarea computerizată a programelor CN pentru mașini-unelte cu conducere numerică de strunjit și frezat sau pentru estimarea costurilor de prelucrare a produselor industriale* se pot evidenția următoarele contribuții:

- **a fost creat sistemul CAD/CAM FASC -2003, destinat frezării CN în 3 axe:**
 - prin intermediul acestui produs software se calculează traseul de prelucrare spațial aferent fabricării suprafeței proiectate; se determinată automat raza optimă a sculei așchietoare; dialogul cu utilizatorul se desfășoară în limba română, fiind conceput inclusiv un suport tehnic (de tip *help*), tot în limba română. Pentru optimizarea procesului de introducere a datelor a fost semiautomatizată proiectarea fabricației. Semiautomatizarea proiectării fabricației presupune:
 - preluarea automată a tuturor informațiilor existente în sistem (începând cu faza CAD);
 - ghidarea secvențială a dialogului prin intermediul ferestrelor de dialog – a avut ca efect reducerea substanțială a timpilor de introducere a datelor, prin scăderea numărului datelor eronate și printr-o preluare rapidă a informațiilor necesare fabricației;
 - programul CN este generat automat, în concordanță cu funcțiile procesorului MUCN.
- **a fost realizat modulul destinat prelucrării buzunarelor cu forme oarecare:**
 - în cadrul acestui produs software, au fost create noi comenzi pentru obținerea rapidă a formei buzunarelor; a fost calculat traseul optim de prelucrare; s-a conceput o procedură pentru divizarea automată a adaosului de prelucrare, dacă acest lucru este necesar; în baza datelor de intrare și a geometriei buzunarului, a fost generat automat programul CN de prelucrare; dialogul cu utilizatorul și suportul tehnic au fost concepute în limba română și a fost semiautomatizată proiectarea fabricației;
- **a fost creat modulul destinat prelucrării canalelor cu contur închis:**
 - în cadrul acestui produs software proiectarea profilelor cu geometrii regulate este mult simplificată, datorită creării unei baze de date proprii, ce cuprinde

câteva dintre formele geometrice ale celor mai des întâlnite canale regulate; s-a simplificat procedura proiectării canalelor cu geometrii noi, prin amplasarea în meniul *Desenare* a unor comenzi noi, care rulează cu dialog în limba română; s-a conceput o procedură pentru prelucrarea succesivă a mai multor canale echidistante, cu formă identică, dacă lăţimea canalului este mai mare decât diametrul frezei; s-a creat posibilitatea racordării canalelor cu raze constante sau variabile; dialogul cu utilizatorul și suportul tehnic au fost concepute în limba română și a fost semiautomatizată proiectarea fabricaţiei;

➤ a fost creat modulul pentru prelucrarea canalelor cu formă spirală:

➤ În cadrul acestui produs software, au fost proiectate 4 canale predefinite, în formă de spirală, a căror modelare se face exclusiv prin intermediul ferestrelor de dialog; s-a simplificat procedura proiectării canalelor cu geometrii noi, prin amplasarea în meniul *Desenare* a unor comenzi noi, care rulează în limba română; au fost create comenzi pentru racordarea canalelor cu raze constante sau variabile; dialogul cu utilizatorul și suportul tehnic au fost concepute în limba română și a fost semiautomatizată proiectarea fabricaţiei;

➤ a fost creat modulul pentru prelucrarea unor suprafețe din domeniul stomatologic:

➤ în cadrul acestui produs software a fost conceput un model geometric destinat proiectării rapide a unui dinte molar; dialogul cu utilizatorul și suportul tehnic au fost concepute în limba română și a fost semiautomatizată proiectarea fabricaţiei;

➤ a fost creat sistemul CAD/CAM Fiting-NC, destinat strunjirii CN în 2 axe:

➤ pentru acest sistem CAD/CAM a fost proiectată integral o nouă interfață; modulul CAD al sistemului a fost proiectat integral, fiind astfel conceput, încât toate date necesare modelării fittingului să poată fi preluate exclusiv prin intermediul ferestrelor de dialog; au fost proiectate integral modulul CAM și modulul de simulare al sistemului; dialogul cu utilizatorul și suportul tehnic au fost concepute în limba română și a fost semiautomatizată proiectarea fabricaţiei;

- au fost obținute noi modele matematice, care au fost implementate în sistemul software WinCOST, destinat estimării costurilor de prelucrare a produselor industriale, precum: modele matematice destinate calculării timpilor auxiliari la prelucrările prin frezare și modele matematice pentru determinarea timpilor auxiliari la danturare.

În cadrul direcției de cercetare privind *valorificarea superioară a materialelor pentru obținerea unor structuri complexe, cu rezistență mecanică ridicată și masă redusă*, prin utilizarea unui procedeu modern de fabricație aditivă: *topirea selectivă cu laser (SLM)*, se pot evidenția următoarele contribuții:

Cercetări privind rezistența la coroziune a diferitelor materiale fabricate prin SLM, realizate în cadrul proiectului ReCoRDIM-SES:

- În cadrul acestui grant [Sfera-13] a fost analizată rezistența la coroziune a trei tipuri de materiale, obținute prin topire selectivă cu laser. Cercetările s-au realizat în Italia la Agenția Națională pentru Energie, Mediu și Noi Tehnologii ENEA (Ente Nazionale per l'Energia, l'Ambiente e le Nuove Tecnologie). În cadrul acestui proiect a fost concepută și apoi proiectată forma geometrică a eșantioanelor analizate după care au fost alese materialele din care acestea să fie fabricate, în concordanță cu testele la care urmau să fie supuse. În continuare au fost parcurse următoarele etape:
 - alegerea procedurii prin care s-au fabricat eșantioanele (topire selectivă cu laser) și a mașinii (SLM 250HL);
 - fabricarea efectivă a eșantioanelor, cu precizarea parametrilor de fabricație aleși;
 - prezentarea studiilor de caz analizate și a echipamentelor folosite pentru realizarea cercetărilor;
 - analizarea microstructurii și a microdunității eșantioanelor din aliaje de titan Ti-6Al-4V supuse unei testări combinate: temperatură-umiditate-radiații ultraviolete și unei testări de coroziune;

- prezentarea concluziilor.
- analizarea influenței coroziunii asupra duratei de viață a aliajului AlSi10Mg, fabricat prin SLM, obținute în urma unor teste accelerate.

Cercetări privind influența tratamentului termic asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale pieselor din TiAl6V4 Fabricate prin SLM, realizate în cadrul proiectului Tehnologia emergentă de topire selectivă cu laser (Selective Laser Melting - SLM) - teorie și practică în dezvoltarea resursei umane

- în cadrul acestui grant [Lancea-17b] a fost analizată influența tratamentului termic asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale pieselor din TiAl6V4 fabricate prin topire selectivă cu laser. Pentru fabricarea probelor identice s-a ales o pulbere de titan Grade 23 (cunoscută și sub denumirea de TiAl6V4 ELI) care este versiunea de înaltă puritate a aliajului Ti-6Al-4V, folosit în cadrul proiectului precedent;
- și în acest caz au fost parcurse etapele enumerate mai sus privind alegerea formei probelor, cu deosebirea că pentru fabricarea propriu-zisă a fost aleasă cea mai bună mașină a firmei SLM Solutions și cel mai bun aliaj de titan existent la acel moment (februarie 2018);
- după fabricarea probelor jumătate dintre ele au fost supuse unui tratament termic de omogenizare în scopul efectuării unei analize comparative a microstructurii și a proprietăților mecanice ale pieselor tratate termic și ale celor netratate;
- în urma acestei analize s-a constatat că tratamentul termic favorizează obținerea unei structuri mult mai uniforme, cu pori mai puțini și faze mai stabile. În același timp, probele tratate termic au avut și o rezistență la compresiune mai bună.

(B-ii) PLANURI DE EVOLUȚIE ȘI DEZVOLTARE A CARIEREI

Planurile referitoare la evoluția și dezvoltarea carierei profesionale, vizează, în principal, dezvoltarea competențelor și a experienței deja dobândite într-un sfert de veac de activitate în cadrul Universității Transilvania din Brașov, în domeniul ingineriei industriale. Aceste planuri vor urmări și în viitor cele două direcții, pe care le-am urmat, începând cu anul 1996, an ce a marcat debutul meu în mediul academic, în calitate de doctorand și apoi de preparator universitar în cadrul Catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, actualul Departament de Ingineria Fabricației. Cele două direcții amintite mai sus, sunt deja bine conturate și vizează domeniile didactic și de cercetare.

1. Competența profesională și didactică

Interesul pentru activitatea de cercetare a debutat încă din anii studenției, când am realizat, în cadrul proiectului de diplomă, un produs software destinat calculului sculelor combinate de tip burghiu-teșitor-lărgitor, folosite pentru prelucrarea locașelor șuruburilor cu cap cilindric. Cu acest produs, am participat la sesiunea de comunicări științifice studențești, organizată de Universitatea Transilvania din Brașov, obținând un premiu ce a constat în participarea la un curs de proiectare și programare a mediului AutoCAD. După finalizarea cursului, mediul AutoCAD a devenit suportul de bază al majorității proiectelor mele de cercetare, derulate în următoarele două decenii.

După promovarea cu media 10 a examenului de licență, în anul 1995, am absolvit Facultatea de TCM a Universității Transilvania din Brașov, Specializarea: Tehnologia Construcțiilor de Mașini, cu media de generală 9.41.

În perioada studiilor de master, interesul pentru inovație și cercetare a crescut, făcând posibilă realizarea unui sistem original, destinat proiectării și fabricației prin frezare a suprafețelor de complexitate medie, premiat cu locul I la sesiunea de comunicări științifice studențești a Universității Transilvania din anul 1996.

După promovarea examenului de disertație, în anul 1996, am absolvit cu media generală 10 programul de MASTER cu specializarea: Inginerie Tehnologică Asistată de Calculator, din cadrul Universității Transilvania din Brașov.

Începând cu anul 1996, când am fost admis, prin concurs, la programul de studii doctorale, sub coordonarea domnului profesor Nicolae-Valentin IVAN, activitatea de cercetare a continuat în cadrul departamentului, iar apoi s-a dezvoltat și s-a diversificat în Centrul de Cercetare Tehnologii și Sisteme Avansate de Fabricație, din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov.

Carierea didactică am început-o în anul 1997, când am ocupat, prin concurs, postul de preparator universitar la catedra de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, care în prezent și-a schimbat denumirea în Departamentul de Ingineria Fabricației.

În continuare, tot prin concurs, am ocupat succesiv posturile de asistent (în anul 2000), de șef de lucrări (în anul 2002) și de conferențiar universitar (în anul 2007).

În perioada menționată mai sus, pregătirea mea s-a dezvoltat și diversificat prin participarea la următoarele cursuri și activități de specializare și perfecționare:

- cursuri de specializare profesionale:
 - în anul 1995: Curs de specializare în utilizarea sistemului de proiectare AutoCAD, Certificate of Complementation AutoCAD R12-level1, Centrul ATC-TCM Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, Universitatea Transilvania din Brașov;
 - în anul 1996: Curs de specializare în utilizarea sistemului de proiectare AutoCAD, Certificate of Complementation AutoCAD R12-level1, Centrul ATC-TCM Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, Universitatea Transilvania din Brașov;
 - în anul 1996: Curs de specializare în utilizarea sistemului de proiectare AutoCAD, Certificate of Complementation AutoCAD R12-AutoLISP, Centrul ATC-TCM Brașov, Facultatea de Inginerie Tehnologică, Universitatea Transilvania din Brașov;

- în anul 2001: Curs de specializare în pachetul software de proiectare Power Shape (DELCAM), Catedra TCM, Universitatea Transilvania din Braşov;
- în anul 2001: Curs de specializare în pachetul software de fabricație Power Mill (DELCAM), Catedra TCM, Universitatea Transilvania din Braşov;
- în anul 2004: Curs de specializare Cimatron – Diplomă recunoscută de Cimatron GmbH;
- în anul 2004: Curs de Managementul calității, în cadrul Universității TRANSILVANIA din Braşov, Certificat de absolvire Seria C Nr. 0002427;
- în anul 2005: Participarea la școala de vară: 1-ère école d'été franco-roumaine sur la qualité dans l'industrie. L'Université Transilvania de Brasov (Roumanie) en partenariat avec l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard (France);
- în anul 2005: Curs de specializare în software-ul CAD/CAM/CAE Pro/Engineer la compania INA Schaeffler, Braşov, 3-21 octombrie 2005;
- în anul 2006: Curs pentru Obținerea Permisului ECDL bază și ECDL CAD pentru conducerea computerului (cu diplome recunoscute în peste 150 de țări) și dobândirea calității de instructor-examinator în cadrul centrului ECDL UNITBV-TCM din Universitatea Transilvania din Braşov, cu permisul ECDL RO 015465.
- în anul 2005: Cursuri de specializare în cadrul programului postuniversitar de formare și dezvoltare profesională continuă „Program de formare în blended-learning și tehnologii educaționale moderne pentru învățământul universitar”, participare câștigată prin competiție;
- burse de studii în străinătate:
 - în anul 1998: Southbank University - Londra (6 săptămâni) – în cadrul unui program TEMPUS;
 - în anul 1999: Fachhochschule Wurzburg-Schweinfurt - Schweinfurt (16 săptămâni) – în cadrul unui program SOCRATES;
 - în anul 2001: University of Nottingham - Nottingham (2 săptămâni) – în cadrul unui program TEMPUS;

Activitatea didactică am desfășurat-o, cu preponderență, în domeniul ingineriei industriale și se regăsește în susținerea de cursuri și de aplicații (seminar, laborator sau

proiect) la o serie de discipline, ce se încadrează în următoarele domenii de interes: proiectare asistată de calculator, fabricație asistată de calculator, proiectare tehnologică asistată de calculator, fabricație aditivă și programare asistată de calculator.

În prezent, sunt cadru didactic titular la următoarele discipline:

- Proiectare asistată de calculator a produselor-sisteme CAD
- Sisteme CAM avansate;
- Medii de proiectare pentru fabricația inovativă;
- Proiectare tehnologică asistată de calculator;
- Tehnologii utilizate în procesele de fabricație;

În afara disciplinelor enumerate mai sus, activitatea mea didactică s-a concretizat și prin crearea de alte noi discipline. În acest sens, în anii precedenți am predat cursuri în cadrul programelor de formare continuă sau în cadrul programelor de studii de licență, organizate de Departamentul de Ingineria Fabricației sau de alte departamente ale Universității Transilvania din Brașov, după cum urmează:

- discipline predate în cadrul programelor de studii de licență, unele în limbi străine:
 - Concepție și Fabricație Integrată Asistată de Calculator, în anul 2003;
 - Sisteme CAD/CAM, în anul 2003;
 - Medii Avansate de Proiectare, în anul 2003;
 - Tehnica sistemelor CAM în limba franceză, în anul 2014;
 - Sisteme CAD/CAM în limba engleză, în anul 2007;
 - Sisteme CAM, în limba franceză, în anul 2008;
 - Grafică Tehnologică Asistată de calculator, în anul 2003;
- discipline predate în cadrul cursurilor de formare continuă:
 - Crearea și gestionarea paginilor WEB, în anul 2006;
 - Conceptele de bază în tehnologia informației și a comunicării, în anul 2006;
 - Documente școlare și gestionarea datelor în sistem informatic, în anul 2006;
 - Informatica de bază, în anul 2006;
 - Tehnologii WEB, în anul 2006;
 - Utilizarea computerului și organizarea fișierelor, în anul 2006;

În sprijinul activității didactice pe care o desfășor în cadrul disciplinelor nou create, au fost elaborate mai multe monografii ce pot fi utilizate și ca suporturi bibliografice pentru orele de curs sau de laborator:

- suporturi de curs:
 - **Concepție și fabricație asistate de calculator**, Editura Universității *Transilvania* din Brașov, ISBN: 973-635-442-3, anul apariției: 2005, număr de autori: 1, numărul total de pagini: 224, unic autor;
 - **Proiectare asistată de calculator utilizând PRO/E. Teorie și aplicații** Editura: MATRIX ROM, ISBN: 978-606-25-0510-3, anul apariției: 2020, număr de autori: 2, numărul total de pagini: 152, autor principal;
 - **Estimarea costurilor de prelucrare a produselor industriale** Editura Universității *Transilvania* din Brașov, ISBN: 978-973-598-243-0, anul apariției: 2008, număr de autori: 7, numărul total de pagini: 193, coautor;
 - **Tehnologia informației și a comunicării. Aplicații Internet**, Editura MATRIX ROM, 2021, 101 pag, ISBN 978-606-25-0658-2, unic autor;
 - **Proiectarea inovativă a produselor industriale**, Editura MATRIX ROM, 2021, 209 pag, ISBN: 978-606-25-0640-7, unic autor;
- suporturi pentru orele de laborator:
 - **Sisteme CAD CAPP CAM teorie și practică**, Editura Tehnică, București, ISBN: 973-31-1530-4, anul apariției: 2004, număr de autori: 11, numărul total de pagini: 194, coautor;
 - **SISTEME CAPP sisteme CAD/CAM și optimizări tehnologice, aplicații în construcția de mașini**, Editura Universității *Transilvania* din Brașov, ISBN: 973-9474-38-1, anul apariției: 2002, număr de autori: 9, numărul total de pagini: 278, co-autor;
 - **Fabricație asistată de calculator. Aplicații în PRO/NC**, Editura: MATRIX ROM, ISBN: 978-606-25-0510-3, anul apariției: 2019, număr de autori: 2, numărul total de pagini: 150, coautor.

Un alt aspect deosebit de important pentru eficientizarea activității didactice și alinierea acesteia la cerințele europene, l-au constituit schimburile de mobilități Socrates, pe care le-am dezvoltat continuu între anii 1998-2001, din calitatea de coordonator, la nivelul Facultății de Inginerie Tehnologică. Alături de programele Socrates, bursele CEEPUS și Erasmus au contribuit, de asemenea, la dezvoltarea abilităților mele de predare într-o limbă străină, în amfiteatrele universităților europene.

Bursele de predare, de mobilitate, de certare sau programele TEMPUS, mi-au facilitat schimbul de experiență cu colegi de la alte universități europene, cu tradiție în educarea studenților. Acestea vor fi prezentate, pe scurt, în continuare:

- 15.06.2006 - 15.07.2006: Bursa internațională, cu predare, în Ungaria, la University of Debrecen, Department of Mechanical Engineering în cadrul programului CEEPUS CII-RO-0041-01-0506-M-4377;
- 01.06.2011 - 30.06.2011: Bursa internațională, cu predare, în Slovacia, la Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU în cadrul programului CII-RO-0202-04-1011-M-43781;
- 15.05.2015 - 29.05.2015: Bursa internațională, cu predare, în Slovacia, la Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU în cadrul programului CIII-PL-0033-10-1415-M-83118;
- 02.05.2017 - 31.05.2017: Bursa internațională, cu predare, în Slovacia, la Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU în cadrul CIII-RS-0304-09-1617-M-104062;
- 02.05.2018 - 31.05.2018: Bursa internațională, cu predare, în Slovacia, la Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Materials Science and Technology STU în cadrul CIII-PL-0033-13-1718-M-117918;
- 04.09.2018-07.09.2018: Bursă de mobilitate Erasmus, la Matej Bel University din Banská Bystrica, Slovacia;
- 1998: Southbank University - Londra (6 săptămâni) – în cadrul unui program TEMPUS
- 2001: University of Nottingham - Nottingham (2 săptămâni) – în cadrul unui program TEMPUS;

- 1999: Fachhochschule Wurzburg-Schweinfurt – Schweinfurt – bursă SOCRATES de 16 săptămâni;

Activitățile didactice complementare s-au concretizat și în coordonarea unor proiecte de diplomă și de disertație, unele dintre ele fiind premiate în cadrul cercurilor științifice studentești, organizate de Facultatea de Inginerie Tehnologică (ex. Modelarea parametrizată și proiectarea CN a pieselor din familia roată curea, utilizând pachetul software CATIA V5.20).

Având în vedere experiența acumulată în activități privind managementul, analiza și evaluarea procesului de învățământ, am preluat și alte responsabilități ce vor fi prezentate succint în cele ce urmează:

- 1998-2002: Secretar științific în comisia de examen de diplomă pentru specializarea TCM;
- 2002-2003: Secretar științific în comisia de examen de diplomă pentru specializarea Productică;
- 2000-prez.: Membru în Comisia Internet a Universității;
- 2000-prez.: Responsabil nod Internet al Departamentul de Ingineria Fabricației;
- 2002-2012: Responsabil și designer pagină web a Facultății de Inginerie Tehnologică;
- 2002-2018: Responsabil și designer pagină web a Departamentul de Ingineria Fabricației;
- 2004-2012: Responsabil nod Internet al Facultății de Inginerie Tehnologică;
- 2004-prez.: Membru în comisia de dizertație a masterului Inginerie Tehnologică Asistată de Calculator;
- 2004 – 2005: Membru în comisia de licență a secției de Productică, coordonată de catedra TCM;
- 2005: Organizatorul unei conferințe studentești internaționale, în data de 28.03.2006, din al cărei prezidiu au făcut parte și personalități din conducerea INA Schaeffler Germania – domnii Bernhard Auernheimer și Bernhard Schwab;

- 2005 - prez.: Activități didactice în cadrul Centrului de Formare Continuă pentru Informatică Aplicată și Dezvoltare Tehnologică, ce funcționează în cadrul Catedrei TCM, Universitatea Transilvania din Brașov;
- 2006 – prezent: responsabil al Laboratorului CAD/CAM și Management Electronic al Datelor;
- 2009 – prezent: responsabil al Laboratorului de Tehnologii integrate, Secțiunea Tehnologii inovative în sănătate;
- 2018 – prezent: responsabil platformă E-learning pentru Departamentul de Ingineria Fabricației;
- 2018 – prezent: responsabil soft antiplagiat pentru Departamentul de Ingineria Fabricației;
- 2018 – prezent: președintele Comisiei de evaluare a lucrărilor prezentate la Sesiunea Cercurilor Științifice Studentești, Secțiunea 2: Tehnologii de fabricație, echipamente tehnologice și ingineria calității, 2011-1017
- 2019 – membru în Comisia de îndrumare a doctorandului BUICAN George-Răzvan, coordonator științific prof.dr.ing. Gheorghe OANCEA, domeniul de doctorat Inginerie industrială, forma de doctorat fără frecvență;
- 2016 – membru în Comisia de îndrumare a doctorandei MARINESCU T. Raluca Maria, coordonator științific prof.dr.ing. NEDELCU Anișor, domeniul de doctorat Inginerie și management, forma de doctorat cu frecvență, fără bursă;

Continuitatea preocupărilor profesionale manifestate în domeniul Ingineriei industriale, experiența de cercetare acumulată în acest domeniu, precum și pasiunea pentru utilizarea calculatoarelor în scopul rezolvării problemelor ingineresti actuale, au avut ca rezultat orientarea mea către următoarele direcții de activitate: proiectare și fabricație asistate de calculator, programarea calculatoarelor, fabricația aditivă a produselor metalice sau a produselor realizate din polimeri. Aceste direcții de activitate, aparțin domeniului ingineria fabricației și se regăsesc în toate preocupările mele de până acum, privind cercetarea științifică, experimentală și didactică, începând cu teza de doctorat.

2. Experiența în activitatea de cercetare

Înainte de a începe prezentarea activității mele de cercetare științifică, desfășurată în anii de după finalizarea tezei de doctorat și până în prezent, consider că este important să precizez că domeniul în care am activat a rămas același, cel al *Ingineriei Industriale*. Acesta este domeniul specializării absolvite (Tehnologia Construcțiilor de Mașini), domeniul tezei de doctorat și domeniul în care mi-am desfășurat activitatea în calitate de cadru didactic universitar.

Referitor la activitatea de cercetare, preocupările mele au urmărit câteva dintre subdomeniile *Ingineriei Industriale*, ce vizează proiectarea și fabricația asistată (CAD, CAPP, CAM, CAE, AM, SLM). În cadrul acestor domenii de cercetare, s-au materializat toate realizările activității mele de cercetare, constând în participarea la 18 granturi / proiecte de cercetare sau contracte cu terți, în calitate de membru al echipei de cercetare, de director al unor secțiuni sau de director al grantului. Toate aceste granturi / proiecte de cercetare, au fost câștigate prin competiție națională sau internațională, după cum urmează:

- 4 granturi de cercetare, câștigate prin competiție internațională: 3 granturi SFERA (1 în calitate de director) și 2 granturi ESTEEM3 (1 în calitate de director);
- 1 grant de mobilitate PNCDI III, câștigat prin competiție națională UEFISCDI (pentru activități de cercetare în Germania, finalizate cu diseminarea rezultatelor) în calitate de director;
- 9 contracte de cercetare de tip CNCSIS, CNFIS sau CNCSU (la 2 dintre ele am fost director științific respectiv director tehnic);
- 1 contract de cercetare tip Complex (PC)/PNII-P4 (Parteneriate în domenii prioritare);
- 1 contract de cercetare CNCSIS de tip platformă;
- 1 contract de cercetare de tip CEEEX;
- 1 contract de cercetare cu terți.

Rezultatele cercetărilor științifice, au fost publicate în reviste de specialitate sau în volumele unor conferințe științifice internaționale, după cum urmează:

- 40 de articole dintre care:

- 8 articole indexate în reviste ISI Thomson Reuters [Lancea-18, Lancea-20b, Chicoș-19, Chicoș-18, Zaharia-20, Zaharia-18, Zaharia-17, Buican -21] ;
- 14 articole in volumele unor manifestări științifice indexate ISI Thomson Reuters, vizibile în baza de date;
- 18 articole in extenso in volumele unor manifestări științifice internaționale neindexate

Recunoașterea și impactul activității mele științifice s-au materializat și prin 31 de citări ale articolelor [Lancea-08, Buican -15, Chicoș -10, Oancea-10, Zaharia-17 etc.] în articole indexate ISI și diverse citări ale articolelor [Lancea-08, Lancea-17-a, Lancea-03-a, Lancea-03-c, Ivan-04 etc.] în articole indexate BDI.

Tot ca o recunoaștere a rezultatelor activității științifice, am fost cooptat ca reviewer, în cadrul jurnalelor ISI sau ca chairman, secretar științific sau membru în colectivele de organizare / comitetele științifice ale unor manifestări științifice internaționale, precum:

- reviewer MDPI ISI Journal, din anul 2020;
- reviewer al Conferinței internaționale CoSME 12, CoSME 16, CoSME 20, în anii 2012, 2016 și 2020;
- chairman în cadrul Conferinței internaționale CoSME 12;
- membru în comitetul științific al Conferinței internaționale CoSME 12, CoSME 16, CoSME 20, în anii 2012, 2016 și 2020;
- membru în comitetul științific 3rd WSEAS International Conference on Manufacturing Engineering, Quality and Production Systems (MEQAPS 11), în anul 2011;
- secretar științific al Conferinței internaționale CoSME 04, CoSME 08 și CoSME 12;
- reviewer al jurnalului Novel Trends in Production Devices and Systems, în anii 2017, 2018 și 2019;
- membru în comitetul jurnalului Academic Journal of Manufacturing Engineering, din anul 2003 până în prezent;

Referitor la modernizarea infrastructurii Departamentului de Ingineria Fabricației, mi-am adus contribuția la echiparea și modernizarea Centrului de cercetare Tehnologii și Sisteme Avansate de Fabricație, din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității, prin

munca depusă pentru echiparea, instalarea și exploatarea mașinii de topire selectivă cu laser, SLM 250HL. Am contribuit, de asemenea, și la dotarea și modernizarea unor laboratoare didactice, în perioada în care le-am coordonat :

- laboratorul didactic de Tehnologii integrate, Secțiunea Tehnologii inovative în sănătate, în perioada: 2008 – 2015;
- laboratorul didactic de Management electronic, în perioada: 2008 - 2015;
- laboratorului didactic de CAD CAM si Management Electronic al Datelor din anul 2018 până în prezent;

Din anul 2000 până în prezent sunt membru (fondator) al asociației profesionale: Asociația Universitară de Ingineria Fabricației – AUIF.

3. Planuri de dezvoltare a activității didactice

Activitatea didactică este o componentă importantă a carierei mele, prin care am căutat să reduc, pe cât posibil, discrepanțele existente între modul în care a fost conceput sistemul de învățământ în România, unde primează latura teoretică, și cel abordat de majoritatea statelor europene, orientat, în general, pe studiu individual și pe activitățile practice. În acest sens, consider că accentul nu trebuie pus pe volumul de informații acumulat într-un anumit interval de timp, ci pe modalitățile prin intermediul cărora să poată fi accesate rapid aceste informații. Sintetizând, consider că educația ar trebui să fie construită în jurul a patru mari piloni:

- **cunoașterea:** presupune acumularea unui nivel de cunoștințe de bază în domeniul studiat;
- **dezvoltarea:** constă în dezvoltarea unor competențe sau abilități necesare extinderii, cu ușurință, a volumului cunoștințelor de bază, accesând sursele de informații existente (bibliografie, internet, baze de date etc.);
- **cercetarea:** inducerea, prin modalitatea de predare, a dorinței studenților de a descoperi singuri lucruri noi;

- **inovarea:** prezentarea unor situații concrete, în scopul demonstrării faptului că mereu poate fi găsită o soluție mai bună decât cea existentă la un anumit moment dat.

În concluzie, consider că învățământul, în general, și învățământul universitar, în special, trebuie să aibă ca scop dezvoltarea unei modalități de formare profesională atractivă și accesibilă, în concordanță cu cerințele pieței muncii, sprijinind și implicând studenții în procesul de învățare, prin:

- îmbunătățirea activității didactice, constând în: dezvoltarea abilităților studenților de a rezolva diverse probleme, încurajarea lucrului în echipă, eliminarea învățării prin memorare sau a activităților prelungite, care tind să devină plictisitoare;
- dezvoltarea internațională a ofertei de programe de studii, prin crearea unui program de studii cu predare într-o limbă străină, fapt care va facilita schimburile de studenți din Uniunea Europeană, prin intermediul unor burse sau programe Erasmus;
- conceptul de învățământ centrat pe student trebuie implementat plecând de la premisa că studenții au nevoi și interese diferite; au stiluri diferite de învățare, nevoile de cooperare între studenți și cadrul didactic sunt diferite etc.;
- necesitatea utilizării tehnologiilor educaționale moderne în procesul de predare bazate în special pe utilizarea calculatorului, a videoproiectorului și a produselor software aferente (PowerPoint, prezentări video etc.);
- actualizarea, modernizarea și publicarea periodică în format electronic, a unor ediții actualizate a suporturilor de curs, în funcție de feedback-ul primit de la absolvenți sau din mediul economic;
- încurajarea studenților în a-și alege singuri temele de cercetare ale lucrărilor de diplomă și de disertație, pe care să le dezvolte și să le prezinte în cadrul cercurilor științifice studentești,
- realizarea unei strânse legături între teorie și practică prin colaborarea continuă cu mediul industrial.

4. Planuri de dezvoltare a activității de cercetare științifică

Modalitatea aleasă pentru dezvoltarea activității de cercetare științifică, a constituit-o extinderea și diversificarea domeniului abordat în cadrul tezei de doctorat, modernizarea metodelor utilizate și actualizarea cunoștințelor, în strânsă legătură cu evoluția științei. Astfel, în perioada imediat următoare finalizării tezei de doctorat, activitatea mea de cercetare științifică s-a axat preponderent pe dezvoltarea sistemului FASC-2003, conceput în cadrul tezei de doctorat. Începând cu anul 2013, odată cu achiziționarea, în cadrul Centrului de cercetare Tehnologii și Sisteme Avansate de Fabricație, a mașinii SLM 250HL, aria activităților mele de cercetare s-a extins și în domeniul fabricării, testării și analizării unor noi materiale, fabricate prin tehnologia topirii selective cu laser.

În acest sens, pentru consolidarea direcțiilor abordate în scopul dezvoltării activității de cercetare științifică și a diseminării rezultatelor obținute, se va urmări:

- continuarea atragerii de fonduri destinate cercetării, prin propunerea proiectelor de cercetare sau prin participarea la proiecte complexe, realizate în consorții:
 - câștigarea grantului internațional de cercetare ESTEEM3 "*Microstructural Analyses on Selective Laser Melted Inconel 718 As-built and Heat Treated*";
- creșterea vizibilității activității de cercetare, prin publicarea periodică a rezultatelor cercetărilor obținute în jurnale din zonele Q1 și Q2, indexate ISI Thompson Reuters sau în cadrul conferințelor internaționale indexate ISI;
 - acceptarea publicării articolului "*Compressive Behaviour of Lattice Structures Manufactured by Polyjet Technologies*" în jurnalul Polymers MDPI (zona Q1);
- pregătirea viitorilor doctoranzi, în scopul accesării unor fonduri (naționale sau europene), prin depunerea de contracte; în vederea specializării lor, prin câștigarea unor burse internaționale de cercetare și prin colaborarea cu celelalte centre de cercetare din cadrul Institutului de Cercetare-Dezvoltare al Universității, pentru realizarea cercetărilor experimentale;
- valorificarea unor cercetări ale doctoranzilor, în scopul obținerii unor brevete de invenție și al creșterii aplicabilității acestora în producție;
- continuarea îmbunătățirii și dezvoltării infrastructurii de cercetare a laboratoarelor departamentului de Ingineria fabricației și a celor din cadrul centrului de cercetare Tehnologii și Sisteme Avansate de Fabricație;

5. Planuri de dezvoltare a carierei

Planurile de dezvoltare a carierei profesionale vor urmări, în principiu, două direcții: dezvoltarea în plan didactic și dezvoltarea în domeniul cercetării științifice.

Dezvoltarea carierei didactice, se va concretiza prin publicarea periodică, în format electronic, a unor materiale actualizate la suporturile de curs sau de laborator existente, pentru disciplinele la care desfășor activități didactice, prin creșterea numărului de studenți coordonați în cadrul proiectelor de diplomă și de disertație, prin coordonarea studenților în vederea participării la Sesiunile Cercurilor Științifice Studentești sau prin intensificarea schimbului de mobilități realizate în cadrul programelor Erasmus.

În privința dezvoltării carierei științifice, voi urmări intensificarea activității de cercetare și de diseminare a rezultatelor printr-o mai bună utilizare a bazei materiale disponibile atât în departamentul de Ingineria Fabricației, din care fac parte, cât și în Institutul de Cercetare - Dezvoltare al Universității Transilvania din Brașov. Pentru a avea acces și la echipamentele moderne, ce nu sunt disponibile deocamdată în universitate, voi continua să accesez programe de cercetare sau de mobilitate, care să îmi permită inclusiv realizarea determinărilor ce necesită utilizarea unor echipamente avansate.

Pentru coordonarea viitoarelor teze de doctorat, am în vedere două direcții de cercetare:

- dezvoltarea unor sisteme software, destinate mediului industrial, folosind pachetele software disponibile în cadrul departamentului sau al Institutului de Cercetare (CATIA V5, ProEngineer, Creo Parametrics, SolidWorks, PowerShape, PowerMill, AutoCAD, Zprint, Objet Studio și Objet Job Manager, EMCO WinNC SINUMERIK 810/840 D, Fanuc 21, EMCO 3D View) sau echipamentele existente:
 - centru de prelucrare CNC cu 5 axe *Mori Seiki NVX 5080/40 5Ax*;
 - centru de prelucrare vertical cu 3 axe *VICTOR VC-55*;

- strung CNC Topper cu echipament Fanuc;
- strung CNC cu trei axe *Goodway GLS 200M*;
- dispozitiv Renishaw;
- microscop metalografic cu cameră de luat vederi;
- rugozimetru, șublere, comparatoare, micrometre, aparat de măsurat uzura cuțitelor de strung;
- dinamometre de măsurat forțele la așchiere (inclusiv Kistler), aparat de măsurat temperatura medie la așchiere, punte tensometrică, multimetru digital, etc.
- valorificarea superioară a materialelor, pentru obținerea unor structuri complexe, cu rezistență mecanică ridicată și masă redusă, obținute prin procedee de fabricație aditivă, pentru care, alături de pachetele software și echipamentele enumerate mai sus, se mai pot folosi și următoarele echipamente:
 - sistemul de fabricație rapidă SLM 250 HL;
 - sistemul de prototipare rapidă (Rapid Prototyping), OBJET EDEN 350 pentru realizarea modelelor 3D prin depunere de straturi de fotopolimeri;
 - sistem de prototipare rapidă (Rapid Prototyping) ZPRINTER 310Plus, pentru realizarea modelelor 3D din straturi succesive de pulberi plastice, lipite cu un liant injectat printr-un cap de printare;
 - sistem de curățare cu jet de aer sub presiune,
 - postprocesare prin infiltrare cu rășini speciale, întărite la temperatura ambiantă sau în cuptor.
 - Sistem de scanare 3D laser LPX-1200.



Centrul de prelucrare CNC cu 5 axe
Mori Seiki NVX 5080/40 5Ax



Strungul CNC cu trei axe *Goodway GLS 200M*



Mașina de tăiere cu jet abraziv *MAXIEM 1530*



Sistemul de fabricație activă *SLM 250*



Scanner-ul *Comet L3D*



Sistemul de prototipare rapidă *Objet EDEN 350*

BIBLIOGRAFIE

- [Abueidda -17] Abueidda, D. Mechanical properties of 3D printed polymeric W. , Bakir, M., cellular materials with triply periodic minimal surface Abu Al-Rub, architectures, Materials & Design, Vol. 122, (2017), p. R. K., 255-267, ISSN 2214-7853
Bergström, J. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.018>
S., Sobh, N. A.
Jasiuk, I.
- [ASTM-09] ASTM E9-09 Standard Test Method Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, ASTM International, West Conshohocken, Pa, 2009
- [Atzeni -12] Atzeni, E., Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology volume 62, p.1147–1155, 2012. ISSN: 00170-011-3878-1
<https://doi.org/10.1007/s00170-011-3878-1>
- [Barsky-83] Barsky, B. A Study of the Parametric Uniform B-Spline Curve and Surface Representations, Tech. Report No. UCB/CSD 83/118, California, 1983
<http://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1983/CSD-83-118.pdf>
- [Blackwell -05] Blackwell, P.L. The mechanical and microstructural characteristics of laser-deposited IN718, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 170, Issues 1–2, (2005) 240-246, ISSN 0924-0136
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.05.005>
- [Buican -15] Buican G. R., Some Considerations Regarding Micro Hardness of

- Oancea Gh., Parts Manufactured from 316-L Steel Using SLM
Lancea C., Technology, Jurnal BDI: Applied Mechanics and
Pop M. A. Materials, Vol. 760, pp. 515-520, 2015, ISSN web:
1662-7482, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.760.515>
- [Buican -15] Buican G. R., Fabrication and Characterization of Fiber-Reinforced
Zaharia S. M., Composite Sandwich Structures Obtained by Fused
Pop M. A., Filament Fabrication Process, COATINGS Journal,
Chicos L. A., Volume: 11, Issue: 5, 2021, Article Number: 601
Lancea C.,
Stamate V.M.
Pascariu I. S.
- [CEEX-05] Contract de Rețea de fabricație inovativă (IMAM – Innovative
cercetare de Manufacturing Network), Contract de cercetare de tip
tip CEEX, CEEX, nr. 41 / 07.10.2005 (înregistrat la MEdC), nr.
54/3.10.2005, Valoare: 170081 RON (înregistrat la
Universitatea „TRANSILVANIA” din Brașov) în
colaborare cu Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,
Universitatea „Politehnica” din Timișoara,
Universitatea de Medicină și Farmacie Iuliu Hațieganu
din Cluj-Napoca.
- [Chang-98] Chang, T. C. Computer Aiding Manufacturing, Prentice Hall PTR,
Wysk, R.A. 1998, ISBN: 0137545320
Wang H.P.
- [Chicoș -10] Chicoș L. A., Software System of Integrated and Simultaneous
Oancea Gh., Engineering Proceedings of the 10th WSEAS
Lancea C., International Conference on APPLIED COMPUTER
Băncila D., SCIENCE (ACS'10), Iwate Prefectural University, pp.
238-241, 2010, Iwate, Japonia, (ISSN: 1792-4863,
ISBN: 978-960-474-231-8 – ISI Proceedings)
Link: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1895260.1895306>
- [Chicoș-18] Chicos, L.-A., Concentrated solar energy used for heat treatment of

- Zaharia S.M., Ti6Al4V alloy manufactured by selective laser Lancea, C. ș.a. melting, Solar Energy Journal, 2018, Vol. 173, pp. 76-88, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.069>
- [Chicoș-19] Chicoș, L.-A., Fabricatie Asistata de Calculator. Aplicatii in Pro/NC, Lancea, C. Editura MATRIX ROM, 2019, ISBN 978-606-25-0510-3, Link: <https://www.matrixrom.ro/produs/fabricatie-asistata-de-calculator-aplicatii-in-pronc/>
- [CNCSIS-03] Grant CNCSIS Sisteme CAD/CAM pentru strunjire și frezare Contract Nr 33253, Tema 12, Cod CNCSIS 609, 2003 – Director: prof dr. ing. Nouraș-Barbu LUPULESCU, **Director tehnic: Camil Lancea**
- [CNCSIS-05] Grant CNCSIS Managementul informațiilor si dezvoltarea de software autohton in ingineria produselor conform conceptului de productică, Tema nr.5, Ordinul MEC nr. 3288/2005, cod CNCSIS: 1021, – Director: prof. dr. ing. Nicolae-Valentin IVAN
- [CNCSIS-06] Grant CNCSIS Oancea, Gh., Lancea, C., ș.a., Software de estimare a Costurilor pentru Produsele Industriale cu Grad Înalt de Personalizare Faza I - Modulul timpilor de fabricație, Contract de cercetare Nr. A1/GR106-19.05.2006 Tema, 8, cod CNCSIS 428, Director: prof dr. ing. Gheorghe OANCEA, **Director științific: Camil Lancea**
- [CNCSIS-08] Grant de tip Platformă de dezvoltări tehnologice inovative Platforme / (PLADETINO), Cod CNCSIS 78, Grant de tip Laboratoare Platforme/Laboratoare de formare si cercetare interdisciplinara, 2006-2008. Valoare: 190000 RON – Director: prof. dr. ing. Nicolae-Valentin IVAN - distincția Premiul pentru cercetare de excelență acordat de Universitatea Transilvania din Brașov
- [ESTEEM - 20] Grant Internațional *Microstructural Analyses on Selective Laser Melted Inconel 718 As-built and Heat Treated*, grant de

- ESTEEM3 cercetare și inovare ESTEEM3 din cadrul proiectului Horizon 2020 nr. 823717, anul 2021, **valoare: 13.206 Euro**
- [Fitzpatrick-18] Fitzpatrick, Machining and CNC Technology, Edition 4, McGraw-Hill Education, 864 pg, ISBN: 1259827445, 2018.
- [Grant-20] Grant Grantul Microstructural studies on Selective Laser internațional Melting Ti6Al4V heat treated using Concentrated Solar Energy – MiSLMCoSE în cadrul proiectului internațional Transnational-Access to ESTEEM3 (Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy), Director: șef lucr. dr. ing. Lucia-Antoneta CHICOȘ
- [Huang-15] Huang Q, Specific heat treatment of selective laser melted Ti–Liu X, 6Al–4V for biomedical applications Frontiers of Yang X, Materials Science, 2015, Vol. 9 p. 373-381, Zhang R, <https://doi.org/10.1007/s11706-015-0315-7> Shen Z Feng Q,
- [Ivan-01] Ivan, N., V. Sisteme CAD/CAM algoritmi și sisteme CAD-T, Editura Didactică și Pedagogică, București, 2001
- [Ivan-02] Ivan, N. V., Ivan, M. C., Lupulescu, N. B., Nedelcu, A., Sisteme Drăgoi, M. V., CAD/CAM și Optimizări tehnologice, aplicații în Păunescu, T., construcția de mașini, Editura Universității Oancea, G., Transilvania din Brașov, 2002 – 277 pagini, ISBN Lancea, C. ș.a. 973-9474-38-1
- [Ivan-04] Ivan N. V., Sisteme CAD CAPP CAM teorie și practică, Editura Berce, P., Tehnică, București, 2004, 404 pg., ISBN 973-31-Drăgoi, M. V., 1530-4 Oancea, G., Ivan, M. C., Bâlc, N.,

- Lancea, C. ș.a.
- [Ivan-05] Ivan, N. V., Capp Phase, a very Important Bridge in CAD and CAM
Lancea, C., Integration, Proceedings of the 7th International
Ivan C. Conference Modern Technologies in Manufacturing
6th – 8th Octber 2005, Universitatea Tehnică din
Cluj-Napoca, p.9-14, ISBN 973-9087-83-3
- [Keles -16] Keles, O., Effect of build orientation on the mechanical
Blevins, C.W. reliability of 3D printed ABS, Rapid Prototyping
& Bowman, Journal, Vol. 23, No.2, (2017), p. 320-328,
K. J. <https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2015-0122>
- [Kief-13] Kief, H. B., CNC-Handbuch 2013/14, Carl Hanser Verlag GmbH &
Roschiwal, H. Co., 2013, ISBN: 978-3-446-43537-7
A.
- [Smith -16] Smith, D. H., Microstructure and mechanical behavior of direct
Bicknell, J., metal laser sintered Inconel alloy 718, Materials
Jorgensen, L., Characterization, Vol. 113, (2016) p. 1-9,
Patterson, B. ISSN 1044-5803,
M., ș.a. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2016.01.003>
- [Knight-05] Knight, W. A. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools
CRC Press, 2005, ISBN 9781574446593
- [Lancea-03a] Lancea, C. Prelucrarea prin frezare a suprafețelor 3D pe
MUCN-uri, cond. științific prof. dr. ing. Nicolae-
Valentin IVAN (teza de doctorat)
- [Lancea-03b] Lancea, C. Computer Aided Establish of Optimal Milling Radius
Ivan, N. V., Regarding 3D Surfaces CNC Milling, Conferința
Ivan, C. Științifică Internațională TMCR, Universitatea Tehnică
a Moldovei, Chișinău, Moldova, 29 mai – 1 iunie,
2003, p. 450-453, ISBN 9975-9748-3-X
- [Lancea-03c] Lancea, C. The 3D Modeling of the Complex Surfaces with the
Ivan, N. V., View of the Machining on NC Milling Machines, 3rd

-
- Ivan, C., International Conference Research and Development in Mechanical Industry, Yugoslavia, 19-23 sept. 2003, p. 295-298, ISBN: 86-83803-06-6
- [Lancea-04a] Lancea, C. CAD Solutions for NC Milling - Fasc-2000 Software, The 1st International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering - CoSME'04, Braşov-Sinaia, 16-18 sept., 2004, Universitatea TRANSILVANIA din Braşov, p. 198-201, ISBN 9736353737
- [Lancea-04b] Lancea, C. CAM Solutions for NC Milling - Fasc-2000 Software, The 1st International Conference on Computing and Solutions in Manufacturing Engineering - CoSME'04, Braşov-Sinaia, 16-18 sept., 2004, Universitatea TRANSILVANIA din Braşov, p. 198-201, ISBN 9736353737
- [Lancea-04c] Lancea, C., Udroi, R., A Computer Simulation Program for NC Milling of 3D Parts, First international conference "Mechanics and Machine Elements", Technical University of Sofia, Bulgaria, 4-6 november 2004, p. 200-203, ISBN: 954-580-173-5
- [Lancea-04d] Lancea, C., Udroi, R., Cutting parameters calculus in milling machining process. Case study, First international conference "Mechanics and Machine Elements", Technical University of Sofia, Bulgaria, 4-6 november 2004, p. 193-199, ISBN: 954-580-173-5
- [Lancea-04e] Lancea, C. Cutting Force Dispersion According to Milling Speed, Feed and Cutting Depth, Bulletin of the TRANSILVANIA University of Braşov, vol. 11(46) – New Series, 2004, Romania, p. 169-176, ISSN:1223-9631

-
- [Lancea-04f] Lancea, C., Considerations about the Cutting Force Variation when Milling with Ball-Nose Tools, *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, Volume 2, 2004, p. 55-59, ISSN: 1583-7904
- [Lancea-05a] Lancea, C. Concepție și fabricație asistate de calculator, Editura Universității TRANSILVANIA din Brașov, 2005 – 224 pagini, ISBN 9736354423
- [Lancea-05b] Lancea, C., Udriou, R. Determining the CNC Path when Milling Complex Shape Pockets with Horizontal Bottom Side, Conferința Științifică Internațională TMCR, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, 19-21 mai 2005, p. 833-836, ISBN: 9975-9775-8-3
- [Lancea-05c] Lancea, C. Concepție și fabricație asistate de calculator, Editura Universității TRANSILVANIA din Brașov, 2005 – 224 pagini, ISBN 973-635-442-3
- [Lancea-07a] Lancea C., Ivan N. V., Chicoș L. A., Oancea Gh. Auxiliary Time Determining Software for Gear-Cutting Operations, The 8th International Conference Modern Technologies in Manufacturing Mtem-2007, 3-6 oct. 2007, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, p.247-250, ISBN 973-9087-83-3
- [Lancea-07b] Lancea C., Ivan N. V., Chicoș, L. A., Oancea G. Study about Auxiliary Billet Attaching and Releasing Time within Milling Operations, Conferința Științifică Internațională TMCR2007, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, 31 mai – 03 iunie 2007, p. 263-266, ISBN: 9975-9775-8-3
- [Lancea-08] Lancea, C.; Ivan, N.V.; Chicosa, L.A. & Oancea, G. Optimisation of CNC Milling Files since CAD Phases (2008). 0741-0742, *Annals of DAAAM for 2008 & Proceedings of the 19th International DAAAM Symposium*, ISBN 978-3-901509-68-1, ISSN 1726-9679, pp 371, Editor B. Katalinic, Published by

- DAAAM International, Trnava, Slovacia, 2008 - (indexată ISI Scientific Proceedings Thomson Reuters)
- [Lancea-09] Lancea, C.; Oancea, Gh.; Chicos, L. A. & Stamate, V. Simultaneous Engineering within CNC Turning of Adapting Pipe Parts (2009). Annals of DAAAM for 2009 & Proceedings of the 20th International DAAAM Symposium, 25-28th November 2009, Volume 20, No.1, pp. 229-230, ISBN 978-3-901509-70-4, ISSN 1726-9679, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2009 - (indexată ISI Scientific Proceedings)
- [Lancea-10] Lancea, C., Oancea, Gh., Chicos, L.A., Stamate, V., Software Package for Improving the Milling Process of 3D Parts, Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on APPLIED COMPUTER SCIENCE (ACS'10), Iwate Prefectural University, Published by World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS) Press, pp. 234-237, (ISSN: 1792-4863, ISBN: 978-960-474-231-8 – ISI Proceedings), Iwate, Japonia, 2010- (indexată ISI Scientific Proceedings)
- [Lancea-11] Lancea, C., Stamate, V., Chicos, L.A., Oancea, G., CAD System for Modeling the Physiognomic Surface of the Side Group Teeth, Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-83-4, ISSN 1726-9679, pp. 0431-0432, Editor Branko Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria 2011.
- [Lancea-12] Lancea, C., Stamate, V., Chicos, L.A., Oancea, Gh. CAD/CAPP/CAM System for Modeling the Physiognomic Surface of the Side Group Teeth, Academic Journal of Manufacturing Engineering (AJME), Vol.10, Issue 3/2012, pp. 51-56, ISSN 1583-

- 7904, Timișoara, România, 2012
- [Lancea-13] Lancea, C. CNC Milling Of Closed Contours Using Faci-13 Software System, Tehnologia Inovativa, pp. 21-26, ISSN 2248 - 0420; ISSN-L 2248 – 0420, Anul 65, Nr. 3-4 / 2013 Romania, Link: https://www.ictcm.ro/images/ictcm/revista/2013/Electronic%20form_TI%203_4_2013.pdf
- [Lancea-14] Lancea, C., Stamate, V. CAD-CAM Solutions for CNC Milling of 3d Surfaces using FASC-14 Software System, Tehnologia Inovativa, pp. 98-104, ISSN 2248 - 0420; ISSN-L 2248 – 0439, Anul 66, Nr. 3-4 / 2014 Romania, Link: https://www.ictcm.ro/images/ictcm/revista/2014/Electronic%20form%20TI%203_4_2014.pdf
- [Lancea-15] Lancea, C., CNC Milling of Spiral Shape Contours Using FACS-15 Software System, Tehnologia Inovativa, pp. 10-16, ISSN 2248 - 0420; ISSN-L 2248 – 0439, Anul 67, Nr. 4, 2015 link: https://www.ictcm.ro/images/ictcm/revista/2015/Electronic%20form%20TI_4_2015.pdf
- [Lancea-17a] Lancea, C., Chicos, L.-A., Zaharia S. and Pop M., Microstructure and micro-hardness analyses of titanium alloy Ti-6Al-4V parts manufactured by selective laser melting, MATEC Web of Conferences and Pop M., eISSN: 2261-236X, Volume 94 (2017), Article Number 03009, 2017 <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179403009>
- [Lancea-17b] Învățarea și înțelegerea tehnicilor de fabricație prin Topire Selectivă cu Laser (SLM) cu scopul dobândirii competențelor necesare exploatării mașinii SLM250HL la un nivel avansat, proiect UEFISCDI - PNIII, număr contract:PN-III-P1-1.1-MC- 2017- 0391 20172018 Nr ani derulare:1, **valoare: 3.610 Euro – DIRECTOR**
- [Lancea-18] Lancea, C., Accelerated Corrosion Analysis of AlSi10Mg Alloy

- Chicos, L.-A., Manufactured by Selective Laser Melting (SLM),
Zaharia S., REVISTA DE CHIMIE, issn: 2537-5733, No. 4 / 2018,
Pop M., ș.a. București, 2018, pp. 975-981,
link: <https://www.revistadechimie.ro/pdf/46%20Lancea%204%2018.pdf>
- [Lancea-20] Lancea, C., Proiectare asistată de calculator utilizând PRO/E
Chicoș, L.-A., Teorie și aplicații, Editura MATRIX ROM, 2020, ISBN:
978-606-25-0573-8
Link: <https://www.matrixrom.ro/produs/proiectare-asistata-de-calculator-utilizand-proe-teorie-si-aplicatii/>
- [Lancea-20-a] Lancea, C., The heat treatment influence on microstructure and
Zaharia, S. M. mechanical properties of TiAl6V4 Parts Manufactured
Pop, M. A., by SLM, The 5th International Conference on
Buican G. R., Computing and Solutions in Manufacturing
Engineering - CoSME'20
- [Lancea-20-b] Lancea, C., Compressive Behaviour of Lattice Structures
Campbell, I., Manufactured by Polyjet Technologies, Jurnalul
Chicos, L.-A., Polymers 2020, 12, 2767;
Zaharia, S. M.
- [Lee-99] Lee, K., Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison
Wesley Longman Inc. 1999, ISBN: 9780201380361
- [Maziero-2000] Maziero, N.L., A feature-based object-oriented expert system to
Ferreira, J.C., model and support product design. Journal of the
Pacheco, F.S., Brazilian Society of Mechanical Sciences, 2000 22(4),
Prim, M.F. pp. 523-543 <https://doi.org/10.1590/S0100-73862000000400003>
- [Oancea-08] Oancea, Gh., Filip, Al., Estimarea costurilor de prelucrare a
Folea, M., produselor industriale, Editura Universită ii
Chicoș, L., TRANSILVANIA din Brașov, 2008 – 193 pagini.
Pârv, L., ISBN 978-973-598-243-0
Morariu, C.,
Lancea, C. ș.a.
- [Oancea-10] Oancea, Gh., Cost Estimating Method of Industrial Product

- Chicos, L. A., Lancea, C. Implemented in WinCOST Software System, 3rd WSEAS International Conference on ENGINEERING MECHANICS, STRUCTURES, ENGINEERING GEOLOGY (EMESEG '10), International Conference on Geography and Geology 2010 (WORLDGEO '10), pp. 148-151, Greece July 22-24, 2010, ISSN: 1792-4294, ISBN: 978-960-474-203-5
- [Overby-11] Overby, A. CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation, McGraw-Hill 2011, ISBN: 9780071623018
- [Periane -19] Periane, S., Duchosal, A., Vaudreuil, S., Chibane, H. Machining influence on the fatigue resistance of Inconel 718 fabricated by Selective Laser Melting (SLM), Procedia Structural Integrity, Vol. 19, 2019, p. 415-422, ISSN 2452-3216, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.12.045>, ş.a.
- [PNCDI-10] program de cercetare PNCDI Sisteme expert de optimizare a proceselor tehnologice-Esop , program de cercetare de tip parteneriat in domenii prioritare (PNCDI), Proiect 2499/2007-2010, valoare: 346052 RON, Director: prof. dr. ing. Mircea Ancău
- [Prautzsch-02] Prautzsch, H., Boehm, W., Paluszny, M. Bézier and B-Spline Techniques, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002, ISBN: 978-3-642-07842-2
- [Roller-12] Roller, D., Brunet, P. CAD Systems Development: Tools and Methods, Springer Science & Business Media, 2012, ISBN: 978-3-642-64523-5
- [Saxena-05] Saxena, A., Sahay, B. Computer Aided Engineering Design, Springer, 2005, ISBN 1-4020-2555-6 (HB)
- [Sfera-12] Proiect internațional Solar Facilities for the European Research Area Titlu: Behaviour and Lifetime Prediction of Materials for

- SFERA Renewable Energy Systems under Accelerated Reliability Testing, Ref. P12030800040257 European Commission grant agreement nr. 228296, 2012, Valoare:12832 Euro, Director: șef lucr. dr. ing. Sebastian-Marian ZAHARIA
- [Sfera-13] Proiect Researches about the Corrosion Resistance of international Different Materials used for Building Sustainable SFERA Energy Systems, numar contract: Ref. PI3042500040296 European Commission grant agreement nr. 228296, 2013, Valoare:12003 Euro, Director: conf. dr. ing. Camil Lancea
- [Sfera-17] Proiect Using Concentrated Solar Energy for Heat Treatment international of Selective Laser Melted Ti6Al4V numar contract: SFERA P1702060268, 2017, valoare:5.680 Euro, Director: șef lucr. dr. ing. Lucia-Antoneta CHICOȘ
- [Shunmugave-17] Shunmugave, A comparative study of mechanical properties and M., machinability of wrought and additive manufactured Polishetty, A., (selective laser melting) titanium alloy – Ti-6Al-4V Goldberg, M., Rapid Prototyping Journal, 2017, ISSN: 1355-2546 Singh, R., <https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2015-0105> Littlefair, G.
- [Song -19] Song, J., Octet-truss cellular materials for improved Zhou, W., mechanical properties and specific energy absorption, Wang, Y., Materials & Design, Vol. 173, (2019), 107773, Fan, R., ISSN 0264-1275, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.107773> Wang, Y. ș.a.
- [Sufiiarov -20] Sufiiarov, V. Investigation of accuracy, microstructure and Sokolova, V., properties of additive manufactured lattice Borisov, E., structures, Materials Today: Proceedings, (2020) Orlov, A., <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.137>

- Popovich, A.
- [Trosch -16] Trosch, T., Microstructure and mechanical properties of selective
Strößner, J., laser melted Inconel 718 compared to forging and
Völkl, R., casting, Materials Letters, Vol. 164, (2016), p. 428-
Glatzel, U. 431, ISSN 0167-577X, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2015.10.136>
- [Vlase-85] Vlase, A., Regimuri de aşchiere, adaosuri d prelucrare și norme
Sturzu, A., tehnice de timp, Vol. 1-2, Editura Tehnică, București,
Mihail, A., 1985.
Bercea, I.
- [Vrancken -12] Vrancken, B., Heat treatment of Ti6Al4V produced by Selective
Thijs, L., Laser Melting: Microstructure and mechanical
Kruth, J.-P., properties, Journal of Alloys and Compounds, 2012,
Van Vol. 541, p. 177- 185, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.07.022>
Humbeeck, J.
- [Wauthle-15] Wauthle, R., Effects of build orientation and heat treatment on the
Vrancken, B., microstructure and mechanical properties of selective
Beynaerts, B. laser melted Ti6Al4V lattice structures, Additive
Jorissen, K., Manufacturing, 2015, Vol.5, p.77-84
Schrooten, J., <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.008>
Kruth, J.P.,
Van
Humbeeck, J.,
- [Zaharia-17] Zaharia, S.M., An investigation on the reliability and degradation of
Pop, M.A, polycrystalline silicon solar cells under accelerated
Chicos, L.A., corrosion test, Materiale Plastice, ISSN 0025 / 5289,
Lancea, C., Volume 54, Issue 3, 2017, pp. 466-472,
<https://doi.org/10.37358/MP.17.3.4872>
- [Zaharia-18] Zaharia S.M., Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of
Lancea C., 316l Stainless Steel Honeycomb Cellular Cores

- Chicos, L.A., Pop, M.A. Manufactured by Selective Laser Melting, Transactions of FAMENA, ISSN: 1333-1124, issue 4, volume 41, No.4, Veljača 2018. pp. 11-24
<https://doi.org/10.21278/TOF.41402>
- [Zaharia-20] Zaharia, S.M.; Effects of Homogenization Heat Treatment on Chicoş, L.A.; Mechanical Properties of Inconel 718 Sandwich Lancea, C. ş.a. Structures Manufactured by Selective Laser Melting, Metals 2020, 10, 645, <https://doi.org/10.3390/met10050645>
- [Zhang -18] Zhang, X.Z., Leary, M., Tang, H.P., Song, T., Qian, M. Selective electron beam manufactured Ti-6Al-4V lattice structures for orthopedic implant applications: Current status and outstanding challenges, Current Opinion in Solid State and Materials Science, Vol. 22, Issue 3, (2018), p. 75-99., ISSN 1359-0286,
<https://doi.org/10.1016/j.cossms.2018.05.002>
- [Zeid-05] Zeid, I Mastering CAD/CAM, McGraw-Hill Higher Education, 2005, ISBN: 9780072976816
- [Zeid-09] Zeid, I, Sivasubramanian, R. Cad/Cam Theory & Practice, Tata McGraw-Hill Education, 2009, ISBN: 9780070151345
- [Yin -19] Yin, S., Chen, H., Li, J., Yu, T. X., Xu, J. Effects of architecture level on mechanical properties of hierarchical lattice materials, International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 157–158, (2019), p. 282-292, ISSN 0020-7403,
<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.04.051>