

PRINCIPIILE PROIECTĂRII TOTALE



MIHAI CIUPAN

**UTPRESS
CLUJ-NAPOCA, 2022
ISBN 978-606-737-577-0**

Mihai CIUPAN

PRINCIPIILE PROIECTĂRII TOTALE



UTPRESS
Cluj-Napoca, 2022
ISBN 978-606-737-577-0



Editura U.T.PRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: ing. Viorica Domșa

Recenzia: Prof.dr.ing. Călin Neamțu
Conf. dr.ing. Radu Comes

Pregătire online: Gabriela Groza

Copyright © 2022 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-577-0

Bun de tipar: 30.05.2022

CUPRINS

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE	7
CAPITOLUL 2. PROIECTAREA TOTALĂ	12
2.1. Definiție	12
2.2. Proiectare totală - Modelul Pugh	14
2.3. Analiza pieței și identificarea cerințelor clienților	17
2.4. Elaborarea specificațiilor de proiectare a produselor	18
2.5. Proiectarea conceptuală	21
2.6. Proiectarea detaliată	22
2.7. Proiectarea tehnologică (fabricarea)	25
2.8. Vânzarea produsului	28
2.9. Întreținerea și exploatarea produsului	28
2.10. Retragerea produsului de pe piață	29
CAPITOLUL 3. MAȘINI-UNELTE	30
3.1. Rolul tehnologiilor de fabricație în procesul de proiectare	30
3.2. Mașini-unelte	30
3.3. Mașini de găurit.....	34
3.4. Strunguri	39
3.5. Mașini de frezat	43
3.6. Mașini de mortezat	46
3.7. Mașini de broșat	48
3.8. Mașini de rectificat	50
3.9. Mașini de honuit și mașini de lepuț	57
3.10. Mașini de danturat	61
3.10.1. Aspecte generale privind transmisiile dințate	61
3.10.2. Elemente geometrice principale ale roților dințate ..	63
3.10.3. Procedee de realizare a roților dințate cilindrice	65
3.10.4. Procedee de realizare a roților dințate conice	69
3.11. Tehnologii neconvenționale	71
3.11.1. Prelucrarea cu jet de apă	72
3.11.2. Electroeroziunea	75
3.11.3. Eroziunea electrochimică	77
3.11.4. Prelucrare cu ultrasunete	79
3.11.5. Tehnologii aditive	80
CAPITOLUL 4. ROBOȚI INDUSTRIALI	86
4.1. Rolul tehnologiilor de automatizare în proiectare	86
4.2. Tipuri de roboți	88
4.3. Elemente de operare	92

4.4. Elemente de programare	95
4.4.1. Instrucțiuni de deplasare	95
4.4.2. Controlul orientării	100
4.4.3. Controlul poziției brațului robotic	102
4.4.4. Structura unui program	103
4.4.5. Subprograme și funcții	104
4.4.6. Tipuri de semnale	104
CAPITOLUL 5. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA AXELOR CINEMATICE ALE UNEI MAȘINI DE FREZAT CNC CU 3 AXE	105
5.1. Predimensionarea axei X	107
5.2. Predimensionarea axei Y	114
5.3. Predimensionarea axei Z	118
5.4. Predimensionarea arborelui principal	123
CAPITOLUL 6. STUDIU DE CAZ: SUPORT PENTRU REGLAREA PORTSCULELOR DE TIP BT40	131
CAPITOLUL 7. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA UNUI DISPOZITIV AUTORIZAT ISCIR CU FURCI PENTRU MANIPULAREA IZOLATORILOR CERAMICI	134
CAPITOLUL 8. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA UNOR REDUCȚII PENTRU PORTSCULE DE TIP BOT PENTRU STRUNG	146
CAPITOLUL 9. STUDIU DE CAZ: REPROIECTAREA STRUCTURII UNUI FOTOLIU ȘI A UNEI MATRIȚE PENTRU PROTOTIPIZARE	150
9.1. Aspecte privind fabricarea fotoliilor	150
9.2. Reproiectarea modelului și a matriței	152
9.3. Fabricarea matriței și a primelor prototipuri	154
BIBLIOGRAFIE.....	158

CUVÂNT ÎNAINTE

Dezvoltarea metodelor și a modelelor de proiectare a rezultat ca urmare a cercetărilor efectuate de specialiști în diverse domenii pentru sistematizarea procesului de proiectare în scopul creșterii calității produselor și eficientizării procesului. Sunt cunoscute o mulțime de modele de proiectare (Integrated Design, Design for Excellence, Design for Assembly, Design for the Environment etc.), toate urmărind o abordare globală și sistemică a procesului de proiectare. Modelul de proiectare tratat în prezenta lucrare a fost dezvoltat de Stuart Pugh și presupune abordarea procesului de proiectare în următoarele etape: analiza pieței și identificarea cerințelor clienților, elaborarea specificațiilor de proiectare, proiectarea conceptuală, proiectarea detaliată, fabricarea și vânzarea produsului.

Cartea prezintă un model integrat de abordare a procesului de proiectare a unui produs în care se urmărește obținerea unor funcționalități și optimizarea procesului de fabricație și de asamblare.

Lucrarea este destinată studenților de la Facultatea de Inginerie Industrială, Robotică și Managementul Producției a Universității Tehnice din Cluj-Napoca, de la specializările “Proiectarea asistată de calculator a sistemelor de fabricație” și “Design industrial”. De asemenea, lucrarea este utilă studenților din domeniul ingineriei industriale, ingineriei mecanice și roboticii și chiar inginerilor care lucrează în domeniul proiectării produselor industriale.

Autorul lucrării, Mihai Ciupan, absolvent al Facultății Construcții de Mașini, actualmente IIRMP, specializarea TCM, este asistent la Departamentul Ingineria Proiectării și Robotică și a obținut un titlu de doctor în Inginerie industrială la Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.

Lucrarea conține nouă capitole având o primă parte (capitolele 1-4) în care se definesc principiile proiectării totale și se prezintă principalele echipamente și tehnologii de fabricație, cu scopul de a oferi cititorilor posibilitatea de familiarizare cu aceste cunoștințe atât de necesare proiectării.

Capitolele 5-9 prezintă mai multe studii de caz bazate pe cercetări și proiecte elaborate de autor, mare parte dintre ele fiind realizate practic. Proiectele au o tematică adecvată obiectivului cursului, iar abordarea fiecărui proiect are un caracter integrator fiind aplicate principii ale proiectării totale.

Doresc să le mulțumesc colegilor de la facultate pentru crearea unei atmosfere care încurajează creativitatea și munca și familiei pentru sprijinul și ideile bune primite.

CAPITOLUL 1. INTRODUCERE

Există numeroase metode sau modele de proiectare definite sub forma unor proceduri sau tehnici pentru proiectare pe care un designer le-ar putea folosi în cadrul unui proces general de proiectare. Procedurile convenționale de proiectare, cum ar fi desenul, pot fi considerate metode de proiectare, dar începând cu anii 1950 au fost dezvoltate noi proceduri care sunt de obicei grupate sub denumirea de „metode de proiectare”. “Modelele de proiectare au în comun încercări de a dezvălui gândirea “privată” a proiectantului și de a exterioriza procesul de proiectare” (Jones 1980).

Metodologia de proiectare este studiul mai larg al metodei în proiectare și constă în studiul principiilor, practicilor și procedurilor de proiectare (Cross 1984).

Metodele de proiectare au apărut ca răspuns la necesitatea rezolvării problemelor impuse de industrializarea și automatizarea producției de masă, care au schimbat natura proiectării. Conferința privind metodele sistematice și intuitive în inginerie, design industrial, arhitectură și comunicații “Conference on Systematic and Intuitive Methods in Engineering, Industrial Design, Architecture and Communications”, desfășurată la Londra în 1962, este considerată evenimentul cheie care marchează începutul a ceea ce a devenit cunoscut în cadrul studiilor de design ca „mișcarea metodelor de proiectare”, ducând la înființarea Societății de Cercetare a Designului și influențând educația și practica în domeniul designului. Specialiști consacrați pentru această mișcare în Marea Britanie au fost John Christopher Jones de la Universitatea din Manchester și Leonard Bruce Archer de la Royal College of Art.

La sfârșitul anilor 1960 au fost publicate două lucrări de referință: “The Sciences of the Artificial” (Simon, 1969) și “Design Methods” (Jones, 1980). Simon a propus „știința designului” ca doctrină analitică din punct de vedere intelectual, parțial formalizabilă, parțial empirică, despre procesul de proiectare, în timp ce Jones a oferit o varietate de abordări ale designului, atât raționale, cât și creative, într-un context de o viziune amplă, care asigură dezvoltarea sistemelor de proiectare.

În anii 1970 au apărut reacții împotriva raționalizării metodelor de proiectare, în special din partea a doi dintre pionierii acestor metode, Christopher Alexander și Christopher Jones (Cross, 1984). Probleme fundamentale privind proiectarea au fost ridicate, de asemenea, de către Rittel, care a caracterizat activitățile de proiectare și planificare drept probleme rele, încă necuprinse în tehnicile științei și ingineriei (Rittel & Webber, 1973). Criticile i-au întors pe unii specialiști de la abordările raționalizate ale rezolvării problemelor de proiectare către procese argumentative, participative, în care designerii au lucrat în parteneriat cu părțile interesate (clienți, beneficiari, utilizatori etc.). Acest lucru a condus la un design participativ centrat pe utilizator, ca un proces creativ în rezolvarea problemelor, conferind un plus de inovare.

Cu toate acestea, interesul pentru metodele sistematice și raționale de proiectare a continuat să se dezvolte puternic în proiectarea inginerescă în anii 1980. Prin seria de conferințe „Conference on Engineering Design a The Design Society” și activitatea asociației Verein Deutscher Ingenieure din Germania și a Societății Japoneze pentru Știința Designului, au apărut cărți despre metodele sistematice de proiectare inginerescă care au fost publicate în Germania și Marea Britanie (Cross, 1989; Hubka, 1982; Pahl & Beitz, 1984).

În SUA, Societatea Americană a Inginerilor Mecanici, Divizia de Inginerie de Proiectare a început un flux despre teoria și metodologia designului în cadrul conferințelor sale anuale. Interesul pentru abordări sistematice, raționale ale designului a condus la știința și metodologia designului în inginerie și informatică.

Dezvoltarea metodelor de proiectare a fost strâns asociată cu tendința pentru un proces sistematic de proiectare. Aceste modele de proces cuprind de obicei un număr de faze sau etape, începând cu o identificare sau recunoaștere a unei probleme sau nevoi pentru un produs nou și culminând cu o propunere de soluție finalizată. Archer (1969) a propus un model foarte elaborat al unui proces sistematic de proiectare pentru design industrial conținând peste 200 de pași (Bruce Archer's Design Process Checklist), dar și un model restrâns format din trei faze: faza analitică (programare și colectare de date, analiză), faza creativă (sinteză, dezvoltare) și faza de execuție.

Consiliul de Design din Marea Britanie propune un model al procesului de design creativ în patru faze: Descoperire (perspectivă asupra problemei), Definiere (zonă pe care să se concentreze), Dezvoltare (soluții potențiale), Selectare (soluții care vor fi implementate în proiect (Design Council 2005).

Un model sistematic de proiectare inginerească elaborat de către Pahl și Beitz conține următoarele faze: clarificarea sarcinii, proiectarea conceptuală, proiectarea de realizare și proiectarea de detaliu (Pahl & Beitz, 1984).

În procesul de proiectare inginerească, modelele sistematice tind să fie liniare, în pași secvențiali, dar este recunoscută necesitatea iterației. În proiectarea arhitecturală, modelele de proces tind să fie ciclice și spiralete, iterația fiind esențială spre sfârșitul fazelor de proiectare. În proiectarea

industrială și de produs, modelele de proces tind să cuprindă o succesiune de etape de gândire divergentă și convergentă (Dubberly, 2004).

Sunt cunoscute numeroase metode de proiectare care pot fi aplicate. Spre exemplu, în cartea „Metode de proiectare” (Jones, 1980) sunt grupate 26 de metode în funcție de scopurile lor în cadrul unui proces de proiectare: metode de explorare a situațiilor de proiectare (stabilirea obiectivelor, investigarea comportamentului utilizatorului, interviuarea utilizatorilor), metode de căutare a ideilor (brainstorming, metode sinectice, diagrame morfologice etc.), metode de explorare a structurii problemei (matricea de interacțiune, inovație funcțională, sortarea informațiilor), metode de evaluare (liste de verificare, clasare și ponderare).

Cross (2008) a stabilit 8 etape pentru un proces de proiectare a unui produs de inginerie, fiecare cu o metodă asociată:

1. Identificarea oportunităților - Scenarii de utilizator;
2. Clarificarea obiectivelor - Arborele obiectivelor;
3. Stabilirea funcțiilor - Analiza funcțională;
4. Cerințe de setare - Specificații de performanță;
5. Caracteristici determinante - Desfășurarea funcției de calitate;
6. Generarea de alternative - Diagrama morfologică;
7. Evaluarea alternativelor - Obiective ponderate;
8. Îmbunătățirea detaliilor - Ingineria valorii.

Modelul de proiectare totală abordat în prezenta carte a fost dezvoltat de Stuart Pugh, specialist cu o bogată experiență de proiectare în industrie (British Aircraft Corporation, Marconi Company, English Electric Company), iar spre finalul carierei a lucrat în domeniul universitar (Loughborough University of Technology, University of Strathclyde în

Glasgow). Modelul propus și aplicat de (Pugh 1991) presupune abordarea etapizată și iterativă cu următoarele 6 etape:

1. Analiza pieței și extragerea cerințelor clienților;
2. Specificațiile de proiectare ale produsului;
3. Proiectarea conceptuală;
4. Proiectarea detaliată;
5. Fabricarea;
6. Vânzarea produsului.

Cartea prezintă un model integrat de abordare a procesului de proiectare a unui produs în care se urmărește obținerea unor funcționalități și optimizarea procesului de fabricație și de asamblare. Lucrarea este destinată studenților de la master, specializarea “Proiectarea asistată de calculator a sistemelor de fabricație” care au în planul de învățământ disciplina “Principiile proiectării totale”. În aceeași măsură, lucrarea poate fi folosită și pentru studenții de la alte specializări: “Design industrial și management” și “Inginerie economică”, care au în program disciplina “Proiectare totală”. Totodată, lucrarea este utilă studenților din domeniul ingineriei industriale, ingineriei mecanice și roboticii și chiar inginerilor care lucrează în domeniul proiectării produselor industriale.

Capitolul 2. Proiectarea totală

2.1. Definiție

Înainte de a defini proiectarea totală, trebuie făcută mai întâi distincția dintre ce anume înseamnă "proiectare totală" și "proiectare parțială". Orice produs, fie un echipament tehnologic de fabricație, un mijloc de transport, o construcție civilă sau un utilaj pentru construcții, înglobează cerințe impuse de specialiști din mai multe domenii ingineresti. Pentru a concepe asemenea produse complexe trebuie coordonate cunoștințe și acțiuni ale unor specialiști din diferitele domenii. Un produs de o anumită complexitate poate fi reprezentat ca în figura 2.1, unde se observă că produsul este compus din mai multe componente tehnologice și netehnologice care influențează proiectarea sa și, în consecință, caracteristicile acestuia. Câteva caracteristici ergonomice (interfața om-mașină) sau estetice (modelul, forma, textura și culoarea), aparent neesențiale, trebuie să fie bine selectate pentru ca produsul să își găsească locul pe piață și să aibă succes.

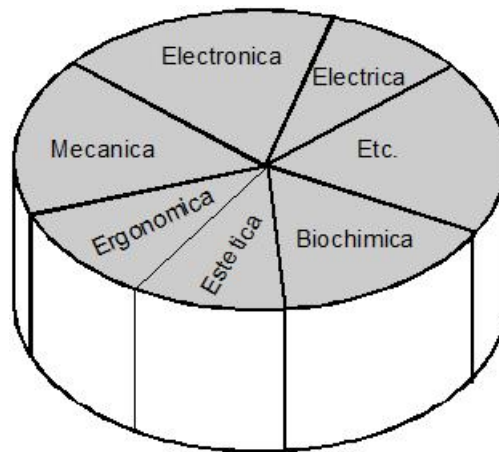


Fig. 2.1. Modelul produsului ca amestec de componente

Proiectarea tradițională se consideră ca fiind o proiectare parțială, așa cum este ilustrat în figura 2.2, iar aceasta înglobează cunoștințe profesionale din mai multe ramuri industriale.

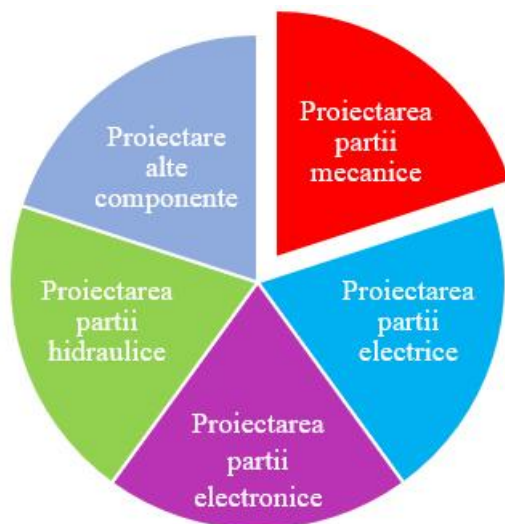


Fig. 2.2. Modelul proiectării clasice (E. Ciupan, 2020)

Proiectarea reprezintă un ansamblu de activități care conduc la elaborarea unei documentații tehnice pe baza căreia se realizează produsul. Proiectarea constă dintr-un complex de activități sistematice necesare elaborării documentației de realizare a unui produs, de la identificarea cerințelor și nevoilor pieței sau a beneficiarului până la vânzarea cu succes a produsului.

Proiectarea este și o activitate de creație umană prin care se stabilesc funcțiile și parametrii unui produs, forma și ergonomia sa, chiar înainte ca acesta să intre în etapa de producție propriu-zisă.

Conceptul de proiectare totală a fost dezvoltat de Stuart Pugh. Pugh a fost inginer proiectant și manager cu o bogată experiență în industrie care

l-a determinat să urmeze o carieră secundară în mediul academic, unde a publicat lucrarea „Total Design” în care definește proiectarea totală astfel: *“Total Design is the systematic activity necessary, from the identification of the market/user need, to the selling of the successful product to satisfy that need – an activity that encompasses product, process, people and organisation”* (Pugh, 1991).

2.2. Proiectare totală - Modelul Pugh

Activitatea de proiectare este un proces complex, ghidat de anumite reguli. De-a lungul timpului s-au conturat, în principal, două abordări diferite. Una dintre acestea este abordarea clasică (tradițională, parțială) conform căreia proiectarea unui produs înseamnă proiectarea principalelor componente ale acestuia (fig. 2.1).

“Al doilea mod ilustrează ideea unei abordări cuprinzătoare în care proiectarea constă într-o mulțime de activități ale unui lanț global al valorii. Se pleacă de la identificarea cerințelor clienților, se continuă cu elaborarea unor specificații de proiectare, cu proiectarea conceptuală, proiectarea de detaliu urmată de fabricarea produsului, promovarea și vânzarea acestuia și se încheie cu utilizarea sau chiar cu retragerea produsului de pe piață. Parcurgerea acestor etape nu se face într-un mod simplu, într-un singur sens, etapă cu etapă parcursă secvențial, ci presupune și întoarceri în etape anterioare, în vederea îmbunătățirii continue a produsului”. Figura 2.3 evidențiază acest model de abordare cunoscut sub numele de “proiectare totală” (E. Ciupan, 2020).

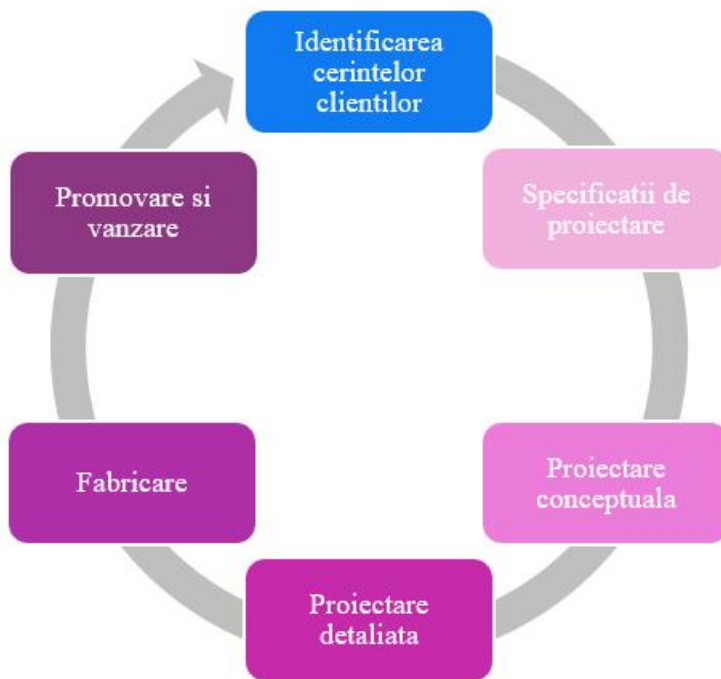


Fig. 2.3. Modelul proiectării totale (E. Ciupan, 2020)

Proiectarea totală conform modelului Pugh poate fi construită pe un miez central al activităților, numit "inima proiectării". Miezul central al proiectării conține principalele grupe de activități pornind de la piața de desfacere a viitorului produs (nevoile clienților) și încheindu-se cu vânzarea produsului sau chiar cu retragerea produsului de pe piață (fig. 1.4).

Toate proiectele încep, sau ar trebui să înceapă, cu o temă de proiectare care trebuie să satisfacă o cerință sau o nevoie de piață, iar utilitatea produsului va fi pusă în evidență când acesta satisface cerința. Pentru un produs cu un grad mare de noutate este posibil să nu avem încă o piață pentru el, aceasta fiind necesar a fi creată.

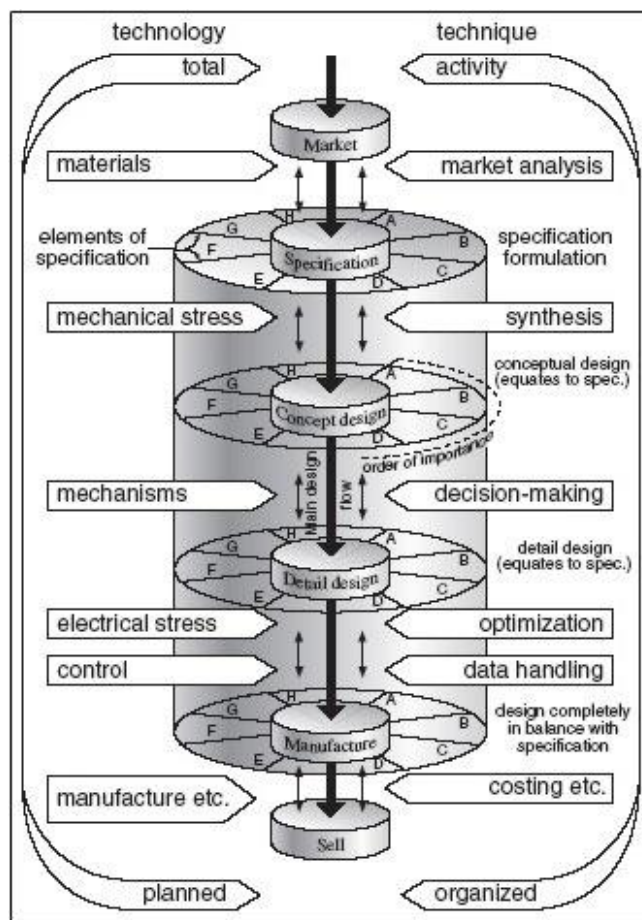


Fig. 2.4. Proiectarea totală (Pugh, 1991)

Așa cum rezultă din figura 1.4, etapele procesului de proiectare totală sunt:

1. Analiza pieței și identificarea cerințelor clienților;
2. Elaborarea specificațiilor de proiectare;
3. Proiectarea conceptuală;
4. Proiectarea detaliată;
5. Proiectarea tehnologică (fabricarea);
6. Vânzarea produsului.

În condițiile unei economii sustenabile, la aceste 6 etape definite de Pugh, este important să fie luate în considerare încă 2 etape și anume:

7. Întreținerea și exploatarea produsului;
8. Retragerea produsului de pe piață.

2.3. Analiza pieței și identificarea cerințelor clienților

Această etapă presupune analiza pieței și identificarea nevoilor pentru un produs nou/modernizat și stabilirea clienților cărora li se adresează produsul. Analiza pieței presupune două faze:

- analiza produselor similare existente pe piață;
- analiza cerințelor clienților.

În prima fază se cercetează produsele similare existente pe piață, produse care vor intra în concurență cu noul produs. Din acest considerent se vor analiza caracteristicile tehnico-funcționale și prețul produselor similare. Produsul nou proiectat va trebui să ofere un raport cost-calitate corespunzător în comparație cu produsele deja existente.

Pentru extragerea cerințelor clienților:

- se identifică grupurile de clienți, a celor care cumpără produsul sau care-l utilizează sau asigură mentenanța acestuia;
- se întocmesc chestionare și se transmit pentru completare unor clienți;
- se prelucrează informațiile din chestionarele completate și se extrag date de proiectare.

Chestionarele trebuie să conțină întrebări în limbajul clientului, nu al specialistului, astfel ca acesta să poată ușor răspunde la întrebările formulate. Cerințele clienților vor fi înregistrate în propriile lor cuvinte, adesea exprimate într-un limbaj netehnic și prin termeni vagi (să nu fie grele, să fie

ușor de deschis, să aibă un volum mic etc.). Acestea sunt denumite cerințe brute ale clienților. Pentru a fi transpuse în date de proiectare ele trebuie să aibă un anumit grad de claritate, de precizie în exprimare. Pentru a extrage date care să fie incluse în specificațiile de proiectare ale produsului este necesară o prelucrare a rezultatelor chestionarelor din partea echipei de proiectare.

În cazul unor produse la temă, comandate de un beneficiar unic, este posibil să nu găsim produse similare pe piață. În acest caz nu sunt necesare nici chestionare, dar trebuie foarte bine analizată situația la beneficiar și înțeleasă problema de rezolvat. O înțelegere eronată a temei de proiectare va duce la un produs care nu va satisface cerințele reale de la beneficiar, chiar dacă satisface specificațiile de proiectare aprobate de părți.

2.4. Elaborarea specificațiilor de proiectare a produselor

Specificațiile de proiectare ale unui produs (PDS - **P**roduct **D**esign **S**pecifications) reprezintă un document care stabilește cerințele pe care trebuie să le îndeplinească acesta pentru a satisface nevoile consumatorilor. Elaborarea specificațiilor de proiectare reprezintă o etapă deosebit de importantă a procesului de proiectare și are loc după etapa de definire a temei/problemei, înainte de a începe proiectarea propriu-zisă. PDS reprezintă baza pentru toate etapele procesului de proiectare, iar membrii echipei de proiectare trebuie să verifice modul de îndeplinire a cerințelor stabilite, pe tot parcursul procesului.

În conformitate cu modelul proiectării totale, specificațiile de proiectare trebuie să conțină următoarele categorii de cerințe:

- cerințe funcționale, referitoare la caracteristicile tehnico-funcționale ale produsului;

- cerințe de fabricare, care stabilesc seria de fabricație, anumite materiale, tehnologia de fabricare și de asamblare etc.;
- cerințe de operare (instalare, utilizare, mentenanță, protecție a produsului și a operatorului);
- cerințe privind standardele și drepturile de proprietate industrială (respectarea unor standarde, existența unor brevete de invenție sau licențe de exploatare);
- cerințe de conformitate cu legea.

În tabelul 2.1 se prezintă un exemplu de specificații de proiectare pentru un produs de complexitate redusă, o roată de curea. În funcție de tipul produsului, specificațiile de proiectare trebuie să conțină cerințele prezentate în tabel, fără a fi necesară respectarea acestui format.

Tabelul 2.1. Specificații de proiectare pentru o roată de curea (E. Ciupan, 2020)

	Data: 10.01.2020	Specificații de proiectare a produsului: Roată de curea pentru integrare într-un ansamblu existent	Nr. PDS: 18R Fila: 1 Pag: 1 Nr.total pagini: 1
Autor:	Mihai Ciupan		
Instituția:	Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca		
Cuvânt înainte:	Roata de curea are rolul de a transmite puterea de la un motor electric la un arbore prin intermediul unei curele trapezoidale de tip SPZ 10 conform standardului ISO 4184. În funcție de raportul dintre diametrele roților de curea de pe cei doi arbori, se poate obține un raport de multiplicare sau de demultiplicare.		

Obiective:	Proiectarea unei roți de curea pentru integrarea acesteia într-un ansamblu existent.
Scop:	Se proiectează și se realizează o piesă cu un diametru particularizat, minim conform limitărilor din standard, din dorința de a obține un raport de demultiplicare mare.
Definiții:	Nu e cazul.
Cerințe funcționale	Se urmărește ca suprafața pe care rulează cureaua să fie netedă pentru a nu deteriora cureaua și a-i prelungi durata de viață. Pentru fixarea roții pe arborele motorului se alege un ajustaj cu strângere ușoară, iar pentru maximizarea momentului transmis se realizează un ansamblu cu pană. Datorită puterii mici a motorului electric, 0.75 kW, se alege un aliaj de aluminiu rezistent și ușor, EN AW 7075, pentru micșorarea momentului de inerție a roții de curea.
Cerințe de fabricare	Piesa se va prelucra prin următoarele procese de așchiere: <ul style="list-style-type: none"> • debitare din semifabricat bară Ø60 mm; • strunjire; • mortezarea canalului de pană.
Standarde de acceptare	În concordanță cu desenul tehnic și standardul ISO 4184.
Cerințe operaționale	În cazul detectării unor vibrații crescute în funcționarea ansamblului se recomandă echilibrarea dinamică a ansamblului motor electric – roată de curea.
Constrângeri legislative	Se va obține certificatul de calitate pentru semifabricatul de aluminiu folosit. Produsul nu încalcă drepturi de proprietate industrială.

2.5. Proiectarea conceptuală

Există mai multe abordări în definirea proiectării conceptuale sau a conceptualizării, cum mai este numită. Pentru unii specialiști, conceptualizarea este definită mult mai cuprinzător, incluzând și faze de analiză a pieței și specificații de proiectare.

Sinteza soluțiilor care concură la rezolvarea problemei date constituie o etapă hotărâtoare în elaborarea proiectului. Căutare structurată, metodică și sinteza soluțiilor ce se vor implementa în proiect influențează direct atât calitatea proiectului și a produsului, cât și eficiența procesului de proiectare.

Formularea corectă a problemei care trebuie rezolvată prin proiectare simplifică activitățile ulterioare, focalizând munca de concepție pe găsirea de soluții viabile.

“În situația unor produse de complexitate ridicată, realizarea unei singure formulări a problemei reale de rezolvat este dificilă și greu de urmărit. Elaborarea unei formulări globale divizate pe subprobleme va ajuta la concepția soluției generale prin componentele acesteia. Formularea unei subprobleme și sinteza unei soluții de rezolvare a acesteia va rezolva o componentă din soluția globală. Acest lucru nu înseamnă că soluția finală va fi o simplă reuniune de soluții parțiale.

E necesar să se acorde o atenție sporită în formularea problemei. O formulare incorectă duce la căutări ale soluției pe drumuri greșite. Pentru a preîntâmpina astfel de situații trebuie ca formularea problemei să se bazeze pe rolul funcțional al produsului, pentru a nu îngreuna excesiv aria de căutare a soluțiilor. Pentru a se evita un drum greșit, Lungu și Ciupan (2010) recomandă parcurgere următorilor pași:

- a) se analizează problema reală și se compară cu cea expusă;

- b) se compară constrângerile actuale cu cele date;
- c) se identifică scopul semnificativ și se compară cu cel impus;
- d) se caută relații între intrări și ieșiri cu luarea în considerare a factorilor perturbatori;
- e) se reanalizează și, dacă este cazul, se reformulează problema de rezolvat”.

Din perspectiva modelului elaborat de Stuart Pugh, proiectarea conceptuală este situată între etapa elaborării specificațiilor de proiectare și cea a proiectării de detaliu. Proiectarea conceptuală presupune generarea de concepte care corespund specificațiilor de proiectare. Evident, pentru orice produs pot exista mai multe variante conceptuale care răspund, cel puțin aparent, cerințelor din specificații. Din variantele conceptuale generate se va selecta o varianta care răspunde cel mai bine tuturor cerințelor din specificațiilor de proiectare. Selectarea soluției se poate face intuitiv sau prin aplicarea unor metode de selecție, bazate pe diferite criterii.

2.6. Proiectarea detaliată

Etapa proiectării de detaliu urmează etapei de proiectare conceptuală și încheie procesul proiectării propriu-zise a unui produs și se referă la rezolvarea detaliilor. Obiectivul acestei etape este generarea desenelor de ansamblu și de execuție a reperelor. Pentru unele produse cu suprafețe complexe (cum ar fi matrițe de injectat), modelul 3D al reperului va fi folosit pentru generarea programului CNC al mașinii de prelucrare și nu desenul de execuție 2D.

În cazul proiectelor ingineresti care presupun realizarea unor desene de ansamblu, de subansamblu și a desenelor de reper, etapa se referă mai cu

seamă la elaborarea desenelor de execuție și la pregătirea documentației tehnice de realizare a produsului.

Aplicațiile software specifice proiectării (Solidworks, Catia, Pro Engineer etc.) oferă facilități privind proiectarea ansamblurilor, a reperelor și elaborarea documentației de execuție. Aceste aplicații sunt concepute pe o arhitectură extrem de simplă, fiabilă și prietenoasă și cuprind toate facilitățile majore ale unui pachet de programe pentru proiectarea asistată de calculator. Dispun de un nucleu geometrice proprii, având modulul de desenare integrat. Strategia de modelare are ca punct de pornire proiectarea bazată pe caracteristicile constructiv-tehnologice ale reperelor, continuând cu realizarea ansamblurilor, cotarea funcțională și generarea semi-automată a desenelor de execuție.

Principalele caracteristici ale aplicațiilor CAD sunt următoarele (E. Ciupan, 2020):

- abilitatea de a identifica, modifica și comunica intenția de proiectare de-a lungul întregului proces de construcție; acest lucru este posibil datorită modulului de modelare structurat ierarhic care înregistrează procesul de construcție într-un mod transparent și accesibil proiectantului, facilitând în orice moment modificarea dimensiunilor, relațiilor și a geometriei piesei;
- facilitățile de modelare a ansamblurilor permit stabilirea de suprafețe de referință pentru montaj, introducerea constrângerilor geometrice ca bază de poziționare a componentelor, reprezentarea desfășurată a ansamblului, detectarea zonelor de interferență între componente și modificarea pieselor în context;

- generarea rapidă, direct din modelul tridimensional, a documentației 2D formată din vederi, secțiuni, detalii cote, toleranțe, elemente de text, tabel de componență și liste de materiale. Documentația este într-o corespondență permanentă cu modelul geometric, astfel încât orice modificare operată în model se reflectă automat în documentația 2D;
- modelarea unor forme complexe.

În acest sens aplicațiile consacrate permit utilizatorilor să definească și să organizeze structurile ansamblului. Aceste unelte oferă proiectantului un mediu foarte productiv pentru proiectarea și desenarea pieselor în context, oferind următoarele funcții:

- generarea structurilor de asamblare într-un mod productiv;
- proiectarea în contextul asamblării;
- abordarea de sus în jos (de la ansamblu la reper) și de jos în sus (de la reper la ansamblu) a proiectării asamblării;
- intervenția ingineriei concurente între proiectarea asamblării și proiectarea pieselor individuale;
- modalități avansate de poziționare a reperelor în cadrul ansamblului cu sau fără constrângeri;
- poziționarea dinamică a reperelor în procesul de asamblare;
- prezintă un editor pentru structura ansamblului, care oferă o organizare intuitivă și eficientă a structurii în timpul modificării desenelor reperelor;
- analiza dinamică a definițiilor asamblărilor, inclusiv detectarea coliziunii reperelor și funcții de analiză a ajustajelor;

- asigură independența structurii asamblării față de reprezentarea geometrică a componentelor;
- permite vizualizarea automată a ansamblului descompus în repere și generarea listei de materiale conform cerințelor beneficiarului;
- accesul direct la catalogul de repere și ansambluri standard.

2.7. Proiectarea tehnologică (fabricarea)

Dicționarul enciclopedic (2004) definește procesul tehnologic ca fiind "totalitatea operațiilor care comportă prelucrări mecanice sau chimice, tratamente termice, impregnări, montaje etc. și prin care materiile prime sau semifabricatele sunt transformate în produse finite." Procesele tehnologice pot modifica forma, structura, proprietățile fizico-mecanice sau compoziția chimică a materiilor prime, a materialelor sau a semifabricatelor de prelucrat.

Un produs se realizează pe baza proiectului tehnic rezultat în etapa de proiectare detaliată, printr-un proces tehnologic care cuprinde echipamentele tehnologice cu operațiile și fazele descrise prin datele tehnologice. În general, realizarea efectivă a unui produs poate fi făcută prin mai multe variante tehnologice. Din acest considerent este necesar ca de la începutul activității de proiectare să se țină seama și de tehnologia prin care va fi realizat produsul. În elaborarea proiectului, specialiștii trebuie să ia în considerare de o serie de factori sau cerințe tehnologice impuse de beneficiar.

Soluțiile tehnice implementate în proiect depind de o serie de factori legați de cerințele de fabricație ale produsului: seria de fabricație, dotarea producătorului cu echipamente tehnologice, gradul de automatizare a producției și a montajului, locul asamblării etc.

Seria de fabricație influențează alegerea soluției tehnice. Spre exemplu în cazul unui echipament tehnologic, o mașină-unealtă sau o instalație tehnologică, realizată ca unicat, proiectantul va fi obligat să aleagă acele soluții care conduc la un cost mai redus. În acest caz se recomandă realizarea batiului sau a structurii metalice ca o construcție sudată. În schimb, în cazul unei serii de fabricație, este posibil să fie mai avantajoasă alegerea variantei cu batiu turnat din fontă. De asemenea, seria de fabricație, tipul și precizia mașinii ar putea să ne conducă la alegerea unui batiu turnat din fontă sau din compozite minerale.

Apoi, în cazul proiectării unui echipament electrocasnic, care se va produce în serie mare, proiectantul poate alege pentru carcasă soluții tehnice cu suprafețe complexe care să confere un design cu un caracter individual care conferă produsului o fizionomie proprie. Soluția amintită va presupune realizarea de matrițe scumpe, dar având în vedere seria mare de fabricație nu va influența semnificativ costul per unitate de produs.

Tot în cazul produselor concepute pentru serie mare de fabricație, în faza de omologare se preferă soluții ieftine, urmând ca după validarea produsului să se proiecteze SDV-urile scumpe, specifice producției de serie. Aici se pot adopta soluții de tip rapid prototyping sau matrițe confecționate din materiale care se prelucrează mai ușor și rezistă doar la o serie mică de fabricație.

Alegerea soluțiilor tehnice este influențată și de restricțiile impuse de dotarea firmei. Cu ocazia participării în cadrul unui proiect la Taparo S.A., companie care produce mobilier tapițat, a fost necesară reproiectarea unor piese din material compozit destinate înlocuirii lemnului din structura de rezistență a mobilierului. După fazele de proiectare și optimizare utilizând metoda elementelor finite, a fost necesară validarea produsului, însemnând

realizarea fizică și testarea în laborator, conform standardelor în vigoare. Realizarea unei matrițe metalice, având în vedere dimensiunile mari ale piesei și suprafețele complexe, implica costuri foarte mari, pe care compania nu le accepta. În acest context, s-a găsit soluția de a construi matrița de termoformare dintr-un bloc realizat prin asamblare din plăci din lemn stratificat. Firma nu dispunea de o mașină de frezat CNC având capacitatea de a prelucra matrițe de dimensiuni mari, dar avea în dotare un robot KUKA, prevăzut cu cap de frezare. În acest context, matrița având dimensiunile semifabricatului 1000x1000x1000 mm, a fost proiectată pentru a fi realizată prin frezare cu ajutorul robotului.

Gradul de automatizare a producției forțează proiectanții să aleagă soluții adecvate fabricării și asamblării. Pentru același produs din punct de vedere funcțional, proiectul va fi diferit dacă se va face într-o unitate echipată cu mașini clasice sau în alta cu mașini CNC. În mod similar cazului prezentat, proiectul va avea particularități dacă asamblarea se va face cu operatori umani sau va fi una robotizată.

Proiectanții trebuie să aleagă soluții adecvate în funcție de locul asamblării produsului. Astfel dacă asamblarea se face la beneficiar, proiectantul va concepe produsul astfel încât acesta să poată fi montat în condițiile beneficiarului care pot fi total diferite de cele ale producătorului. Apoi, dacă beneficiarul face asamblarea, produsul va trebui să fie însoțit de un minim de SDV-uri și de instrucțiuni clare de montaj. Lucrurile se schimbă în cazul unui utilaj complex, care necesită reglaje speciale la montaj, asamblarea fiind asigurată de producător.

Ca o concluzie asupra acestei etape, putem spune că restricțiile de fabricare au o influență majoră asupra concepției produsului. Pentru

majoritatea produselor, în special pentru cele de serie, procesul de fabricare se face pe baza unui proiect tehnologic, realizat pe baza proiectului tehnic.

2.8. Vânzarea produsului

Concepția produsului este influențată și de modul de ambalare, vânzare, de aria de distribuție a produsului etc. Produsul trebuie conceput pentru a fi ambalat într-un volum minimizat, fapt ce conduce la reducerea cheltuielilor de transport. Spre exemplu în cazul unui produs de tip suc natural, acesta trebuie gândit odată cu ambalajul său. Opțiunea proiectantului pentru un ambalaj de sticlă, PET sau Bag-in box trebuie bine cântărită în legătură cu pretențiile consumatorilor și costul produsului.

În cazul produselor de mobilier, mai ales dacă acestea se transportă la beneficiarii finali pe distanțe mari, interesul vânzătorului este de a reduce costurile de transport pentru a le oferi la prețuri competitive. Astfel proiectantul va căuta soluții de a minimiza volumul produsului în timpul transportului, găsind soluții de asamblare parțială sau totală la beneficiar.

Într-o altă situație în care produsul final are dimensiuni mari, soluțiile tehnice trebuie alese astfel încât acesta să poată fi transportat de la producător la beneficiar.

2.9. Întreținerea și exploatarea produsului

Întreținerea reprezintă totalitatea lucrărilor realizate continuu sau periodic asupra produselor (utilaje, mașini, instalații etc.) cu scopul de a se menține la parametri normali de funcționare. Exploatarea constă în totalitatea lucrărilor de folosire a utilajelor și a instalațiilor pentru asigurarea unei producții în condiții de siguranță deplină, cu cheltuieli minime de întreținere și de reparație.

În funcție de tipul și de complexitatea produsului, proiectantul va trebui să țină seama de calificarea operatorilor care vor asigura întreținerea sau care vor exploata produsul. Odată cu produsul se vor livra instrucțiuni de exploatare și de întreținere pentru fiecare tip de utilaj, cu respectarea strictă a succesiunii operațiilor la pornirea și oprirea utilajului.

Pe de altă parte, proiectantul va concepe utilajul în funcție de tipul de mentenanță ales. Soluția va fi diferită dacă produsul necesită o mentenanță predictivă sau una planificată, în primul caz utilajul fiind echipat cu senzori pentru monitorizarea stării și detectarea eventualelor defecte înainte ca acestea să creeze o problemă.

2.10. Retragera produsului de pe piață

La elaborarea proiectului este bine să se țină seama de ciclul de viață al produsului și ce se va întâmpla cu acesta la retragerea de pe piață. Soluțiile implementate în proiect trebuie să favorizeze reciclarea produsului sau a materialelor componente.

CAPITOLUL 3. MAȘINI-UNELTE

3.1. Rolul tehnologiilor de fabricație în procesul de proiectare

Cunoașterea tehnologiilor de fabricație este importantă în proiectarea produselor, astfel încât acestea să poată fi realizate cu o calitate bună și cu costuri minime.

Adesea o piesă foarte complexă poate fi reproiectată prin împărțirea ei în mai multe componente simple sau prin modificarea pieselor cu care se assemblează.

Chiar dacă proiectul inițial al unei piese este foarte bun din punct de vedere funcțional, acesta poate să sufere modificări pentru adaptarea sa la baza materială, adică la mașinile-unelte ale producătorului sau ale furnizorilor acesteia.

3.2. Cerințe ale mașinilor-unelte (Ciupan M., 2020)

Mașina este un “sistem tehnic alcătuit din piese ce funcționează coordonat, transformând o formă de energie în alta sau efectuând un lucru mecanic util. Conform Noului Dicționar Explicativ al Limbii Române NODEX (2002) mașina-unealtă este o “mașină echipată cu scule pentru așchiere, forfecare, tăiere sau pentru deformare plastică”.

Mașina-unealtă este “o mașină de lucru care realizează un proces tehnologic de prelucrare, în general prin așchiere” (Galiș, Popescu, Pop și Ciupan, 1994).

Mașinile-unelte sunt mașini antrenate de motoare folosite pentru formarea pieselor din metal sau alte materiale. Generarea pieselor se realizează printr-unul din următoarele trei moduri:

- înlăturare de material;
- deformare plastică;
- adăugare de material.

Curbele de generare a suprafețelor prelucrate pe mașini-unelte se realizează prin acțiunea combinată a mai multor organe mobile care efectuează mișcări pe traiectorii rectilinii sau circulare ușor realizabile prin intermediul cuplelor cinematice de tip ghidaj-sanie sau fus-lagăr.

Mișcările care au loc pe traiectorii materializate și care concură, prin acțiunea lor concertată, la generarea cinematică a unei curbe dictate de un proces de prelucrare poartă denumirea de mișcări elementare sau mișcări de bază.

O mișcare elementară a mașinii se realizează de către un lanț cinematic, sau de către o axă cinematică.

Conceptul de axă cinematică a apărut odată cu mașinile cu comandă numerică, la care realizarea curbelor de generare se face prin programarea unor mișcări elementare care se efectuează după axele sistemului de coordonate al mașinii. Noțiunea de axă cinematică este în prezent utilizată și pentru mașini-unelte clasice.

"Axa cinematică este formată din sursa primară de mișcare, totalitatea mecanismelor prin care se transmite fluxul de mișcare și elementul final mobil" (Galiș și colab., 1994). Conform acestei definiții, axa cinematică constituie un ansamblu al mașinii care realizează o mișcare elementară, care poate fi mișcarea principală sau o mișcare de avans.

Mașinile-unelte sunt într-o permanentă evoluție sub influența cerințelor clienților acestei industrii (Alberti, Ciurana, Rodríguez & Özel, 2009; Chung & Peng, 2004 ; Athawale & Chakraborty, 2010):

- costuri scăzute de achiziție și utilizare;

- posibilitatea de a prelucra piese cu dimensiuni neuzuale (foarte mari sau foarte mici) (Aggogeri, Borboni, Faglia, Merlo și Cristofaro, 2013; Uriarte, Zatarain, Axinte, Yagüe-Fabra, Ihlenfeldt, Eguia și Olarra 2013; Chavoshi, Goel și Morantz, 2017);
- scăderea timpului de fabricație.

Aceste deziderate pot fi atinse printr-o serie de măsuri:

- scăderea costurilor materiei prime și a manoperei necesare construcției de mașini-unelte;
- simplificarea dotării de fabricație;
- creșterea productivității mașinii prin folosirea unor viteze mai mari de așchiere și de avans (engleza: high-speed machining / high-performance machining) (Grainger, n.d.);
- creșterea preciziei mașinii (Kim, Park și Lee, 2000);
- îmbunătățirea fiabilității;
- automatizarea unor procese de operare (măsurarea automată a piesei, măsurarea automată a sculei, reglarea dinamică a parametrilor de proces în funcție de condițiile de așchiere) (Simon și Lima, 2015);
- prelucrarea din cât mai puține prinderi (REMSystems, n.d.);
- prelucrarea simultană a mai multor piese prin creșterea numărului de axe cinematice;
- îmbunătățirea vitezei de procesare și a caracteristicilor de reglare a sistemelor electronice de comandă;
- posibilitatea de a integra mașina-unealtă într-un flux de producție parțial sau complet automatizat (REMSystems, n.d.).

Poziționarea suprafețelor prelucrate dintr-o singură prindere pe mașină determină numărul axelor cinematice cu care trebuie echipată mașina. Cu o mașină de frezat CNC în trei axe se pot prelucra suprafețe complexe însă este necesar ca scula să aibă o anumită geometrie (torică sau sferică). Dezavantajul unei mașini în trei axe constă în faptul că pe unele fețe laterale ale piesei nu pot fi efectuate găuriri sau frezări, datorită poziției necorespunzătoare față de axa arborelui principal. De exemplu în cazul unei piese prismatice, pe o freză CNC cu arbore vertical având trei axe cinematice de avans, se pot prelucra toate suprafețele exterioare cu excepția celei de bazare, dar efectuarea unor găuri sau frezarea unor buzunare se pot face numai pe fața superioară.

Un alt dezavantaj apare la prelucrarea unor suprafețe complexe cu freze sferice atunci când unghiul dintre sculă și suprafață se apropie de 90° , deoarece viteza de așchiere tinde la 0.

O mașină de frezat în cinci axe (fig. 3.17) elimină dezavantajele enumerate mai sus prin aceea că permite înclinarea sculei în raport cu piesa prin axele cinematice de rotație.

Înțelegerea construcției mașinilor permite o utilizare mai eficientă a acestora în condițiile unei durate lungi de viață. Dacă mașina-unealtă este echipată cu componente masive în raport cu sculele cu care prelucrează, atunci aceasta se pretează așchierii cu adâncimi mari de prelucrare, dar cu viteze și avansuri mici. Dacă dimpotrivă, mașina are componente mai fine și ușoare atunci este recomandată utilizarea unor viteze și avansuri mari, dar adâncimi mici de așchiere.

Batiurile sunt organe de mașini care susțin celelalte elemente fixe și mobile ale mașinilor-unelte și au rolul:

- de a susține elementele fixe și mobile ale mașinilor unelte;

- de a asigura o poziție stabilă între suprafețele de bazare și suprafețele de ghidare;
- de a asigura o rigiditate corespunzătoare mașinii.

Forma și dimensiunile batiului sunt determinate de:

- tipul mașinii și al operației;
- forma și dimensiunile piesei prelucrate;
- corelația cu celelalte componente care se montează pe acestea;
- precizia mașinii;
- tehnologia de fabricație a batiului.

Ghidajele mașinilor unelte pot fi construite monobloc cu batiul (pentru batiuri turnate din fontă) sau pot fi aplicate pe batiu și au rolul de a susține organele mobile (săniile) ale mașinilor unelte. Ghidajele au rolul:

- de a asigura traiectoria organelor mobile ale mașinii;
- de a oferi rigiditatea și precizia corespunzătoare mașinii.

Săniile și mesele sunt organe de mașini care se montează pe ghidajele batiului și au rolul de a susține piesele de prelucrat și de a asigura deplasarea acestora în scopul realizării curbelor generatoare.

În continuare se prezintă principalele tipuri constructive de mașini-unelte așchietoare.

3.3. Mașini de găurit

Mașinile de găurit sunt unele dintre cele mai simple și în același timp cel mai des utilizate mașini-unelte. Acestea sunt folosite pentru realizarea și finisarea găurilor cilindrice și sunt împărțite în funcție de construcție în:

- mașini de găurit cu coloană;
- mașini de găurit radiale;
- mașini de găurit în coordonate;

- mașini de găurit adânc;
- mașini de găurit speciale.

Mașinile de găurit cu coloană sunt des întâlnite în unitățile de producție și sunt formate din următoarele componente (fig. 3.1):

- bază;
- coloană;
- masă;
- arbore principal;
- motor electric de antrenare;
- transmisie cu mai multe trepte cu curea trapezoidală.



Fig. 3.1. Mașină de găurit cu coloană (Engineering Learn, n.d.)

Mașinile de găurit radiale (fig. 3.2) sunt folosite pentru găurirea pieselor de dimensiuni medii și mari. Sunt formate dintr-o coloană masivă montată pe o bază. Bratul mașinii poate fi rotit în jurul coloanei și de asemenea se poate ridica prin intermediul unui șurub. Căruciorul cuprinde motorul de

așchiere, cutia de viteze, cutia de avansuri și arborele principal și poate fi deplasat de-a lungul brațului. Mișcarea de rotație și cea liniară a căruciorului asigură poziționarea burghiului în orice punct din spațiul de lucru în plan orizontal. Datorită dimensiunilor mari ale pieselor, mașinile radiale sunt dotate cu o masa robustă, care poate fi prinsă în orice poziție pe bază.



Fig. 3.2. Mașină de găurit radială (Bernardo, n.d.)

Un alt tip de mașină de găurit este cea în coordonate (fig. 3.3). Aceasta oferă pe lângă mișcarea de avans a pinolei, posibilitatea mișcării precise a mesei în plan orizontal. Avantajul său, spre deosebire de celelalte mașini de găurit, este că poate fi folosită pentru poziționare precisă a găurilor. Piese care au mai multe alezaje în care se fixează știfturi pentru aliniere sau rulmenți nu pot fi prelucrate pe mașini de găurit cu coloană sau radiale,

deoarece atunci când se assemblează cu piesele omoloage, acestea nu s-ar potrivi.



Fig. 3.3. Mașină de găurit în coordonate (Gillardon, n.d)

Mașinile de găurit adânc reprezintă o altă categorie de mașini care sunt folosite atunci când lungimea burghiului este foarte mare în raport cu diametrul acestuia și există riscul flambării sculei. Acestea folosesc o serie de suporturi intermediari pentru susținerea sculei care se deplasează concomitent cu arborele principal. O altă particularitate a lor este faptul că au un sistem de pompare pentru lichidul de așchiere care este capabil să furnizeze un debit și o presiune crescute. Acest sistem este important pentru scăderea forțelor de găurire și pentru îndepărtarea așchiilor din zona de lucru.

Mașinile de găurit adânc se împart în două mari categorii:

- mașini de găurit adânc pentru țevi (fig. 3.4);
- mașini de găurit adânc pentru matrițe (fig. 3.5).



Fig. 3.4. Mașină de găurit adânc pentru țevi (Shin-II, n.d.)

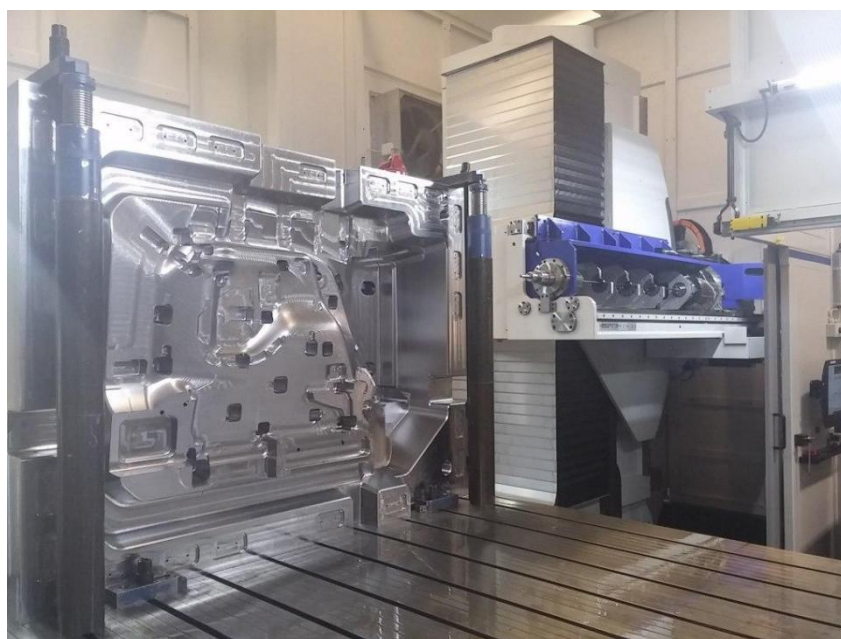


Fig. 3.5. Mașină de găurit adânc pentru matrițe (IMSA, n.d.)

Mai există și alte mașini de găurit care sunt speciale și sunt optimizate pentru anumite aspecte de producție. De exemplu, în figura 3.6 se prezintă o mașină de găurit cu mai mulți arbori care poate fi folosită pentru realizarea unei piese care necesită până la patru scule. Aceasta este utilă într-un mediu de producție în serie deoarece muncitorul nu trebuie să schimbe scula de

mai multe ori la aceeași piesă, deoarece aceasta trece succesiv prin toate posturile de lucru. Astfel se elimină niște timpuri considerabili de înlocuire a sculei.



Fig. 3.6. Mașină de găurit cu mai mulți arbori (Heltos, n.d.)

3.4. Strunguri

Strungurile sunt folosite în general pentru realizarea pieselor de revoluție care constau din suprafețe cilindrice, conice sau profilate sau plane frontale. Acestea pot realiza și filete. Ele pot fi clasificate în:

- strunguri normale;
- strunguri carusel;
- strunguri pentru arbori cotiți.

După nivelul de automatizare se împart în strunguri clasice, cu comandă mecanică sau electrică, și strunguri CNC (en: computer numeric control), cu comandă electronică.

În figura 3.7 se prezintă un strung normal. Acesta este format din următoarele componente:

- batiu;
- motor electric pentru arborele principal;
- păpușa fixă:
 - ◆ cutie de viteze;
 - ◆ arbore principal;
 - ◆ cutie de avansuri;
- cărucior:
 - ◆ sanie transversală;
 - ◆ sanie suport scule;
 - ◆ suport scule;
- păpușa mobilă.



Fig. 3.7. Strung normal (Precision Matthews, n.d.)

Pentru piese cu diametre mari, dar lungimi mici se folosesc strunguri verticale, denumite și strunguri carusel. În figura 3.8 se prezintă o astfel de mașină-unealtă. Mașina este echipată cu un platou pe care se prinde piesa și care efectuează o mișcare de rotație (mișcarea principală așchiere). Sculele se prind pe un montant atașat unui portal, acestea realizând două deplasări liniare, pe direcție longitudinală și transversală față de arborele principal.



Fig. 3.8. Strung carusel (Pietro Carnaghi, n.d.)

Un alt tip de strung este cel pentru arbori cotiți (fig. 3.9). Acesta seamănă cu strungul normal din punct de vedere al construcției, însă are două platouri, câte unul în fiecare capăt, fiecare fiind echipat cu o axă liniară. Aceste sănii sunt deplasate pentru alinierea axei de rotație a strungului cu diferite tronsoane ale arborelui cotit.

În figura 3.10 este prezentat un strung CNC, similar ca poziționare a axelor cu strungurile normale. În partea din stânga are arborele principal și universalul în care se fixează piesa, iar la mijloc are două axe liniare

suprapuse, o axă longitudinală și o axa transversală, peste care este așezat capul revolver cu sculele. În partea din dreapta este așezată păpușa mobilă care are rol de susținere a pieselor lungi. Acest tip se potrivește cel mai bine pentru piese cu geometrii complexe, toleranțe strânse sau pentru producție de serie.



Fig. 3.9. Strung pentru arbori cotiți



Fig. 3.10. Strung CNC (Haas, n.d.)

3.5. Mașini de frezat

Mașinile de frezat sunt folosite în general pentru suprafețe plane sau pentru suprafețe profilate. Există o varietate foarte mare de astfel de mașini în funcție de gabaritul și sarcinile pentru care sunt proiectate, printre ele aflându-se:

- mașinile de frezat universale (fig. 3.11);
- mașinile de frezat cu arbore vertical (fig. 3.12);
- mașinile de frezat cu arbore orizontal (fig. 3.13);
- mașinile de frezat portal (fig. 3.14);
- mașinile de frezat cu coloană (fig. 3.15).

Acestea au diferite numere și tipuri de axe în funcție de piesele pe care le pot prelucra. Ele sunt alcătuite în principal dintr-un batiu pe care sunt așezate în diferite configurații unul sau mai mulți arbori care realizează mișcarea de așchiere, axe de avans liniare și axe de avans de rotație.



Fig. 3.11. Mașină de frezat universală (Alibaba, n.d.)



Fig. 3.12. Mașină de frezat cu arbore vertical (Haas, n.d.)



Fig. 3.13. Mașină de frezat cu arbore orizontal (Haas, n.d.)



Fig. 3.14. Mașină de frezat cu portal (Soraluce, n.d.)



Fig. 3.15. Mașină de frezat cu coloană (Soraluce, n.d.)

3.6. Mașini de mortezat

Mașinile de mortezat (fig. 3.16, 3.17) sunt folosite în general pentru realizarea de canale de pană și caneluri în interiorul unor piese. Ele sunt constituite dintr-un berbec care realizează mișcarea principală (mișcare liniară alternativă) și pe care este fixat un cuțit. Berbecul este fixat pe coloana mașinii, iar aceasta la rândul ei pe batiu. Motorul electric este conectat la berbec prin intermediul unei cutii de viteze pentru reglarea numărului de curse duble pe minut și al unui mecanism biela-manivela care transformă mișcarea de rotație în mișcare liniară.

Tot pe batiu este fixat un universal sau un platou pe care se așază piesa, aceasta putând fi rotită cu precizie. Prin intermediul a două axe liniare de avans, piesa poate fi deplasată în plan orizontal (fig. 3.18).



Fig. 3.16. Mașină de mortezat (Google, n.d.)



Fig. 3.17. Mașină de mortezat (Google, n.d.)

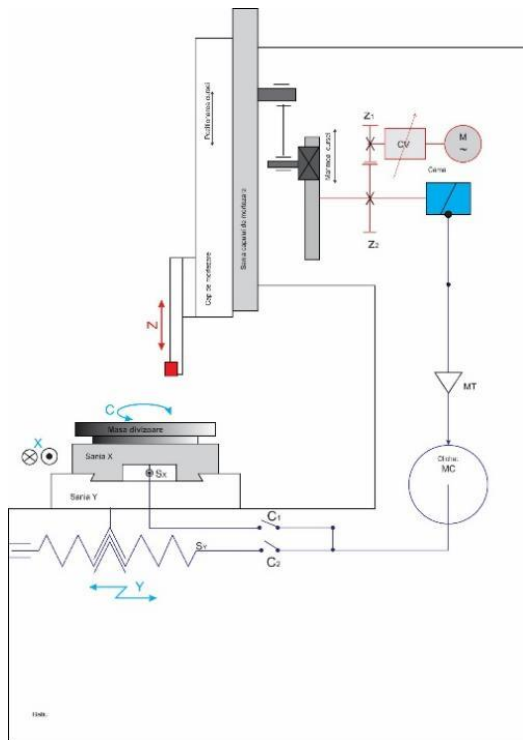


Fig. 3.18. Schema cinematică a unei mașini de mortezat (Google, n.d.)

3.7. Mașini de broșat

Mașinile de broșat sunt folosite pentru realizarea de canale de pană, caneluri, danturi sau diferite profile atât la interior, cât și la exterior. Acestea sunt niște mașini cu o construcție simplă, însă au putere mare datorită faptului că sculele (broșele) au numeroase tășuri, multe dintre ele aflându-se simultan în așchiere. Datorită geometriei complexe a broșei (fig. 3.19) și a faptului că acestea trebuie schimbate atunci când se schimbă forma suprafeței prelucrate, dotarea în vederea aplicării acestei tehnologii este un proces scump care se pretează doar în cazul producției de serie mare.

Figura 3.20 prezintă construcția unei broșe. Se observă că aceasta are numeroase tășuri prelucrate astfel încât fiecare îndepărtează succesiv o grosime de așchiere determinată de regimul de așchiere ales.

Ca o compensare a faptului că sculele sunt scumpe, mașinile sunt mai ieftine, iar procesul este unul foarte productiv. Cele două tipuri principale de mașini de broșat sunt mașinile verticale și cele horizontale.



Fig. 3.19. Broșă elicoidală pentru dantura cilindrică interioară și înclinată
(Forst, n.d.)

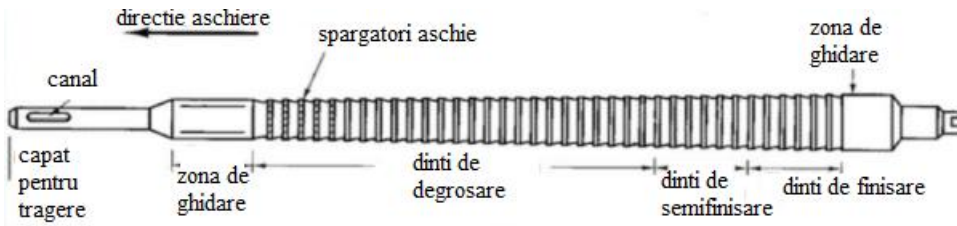


Fig. 3.20. Construcția unei broșe (Slide Player, n.d.)

Există 2 tipuri principale de mașini de broșat: mașini verticale (fig. 3.21) și mașini orizontale (fig. 3.22). Acestea se mai împart în funcție de tipul acționării, aceasta putând fi hidraulică sau mecanică. Cele hidraulice (fig. 3.23) au avantajul unei construcții simple, ieftine și fiabile, iar cele mecanice au un randament energetic mai bun.



Fig. 3.21. Mașină de broșat verticală (Power Broach, n.d.)



Fig. 3.22. Mașină de broșat orizontală (Google, n.d.)

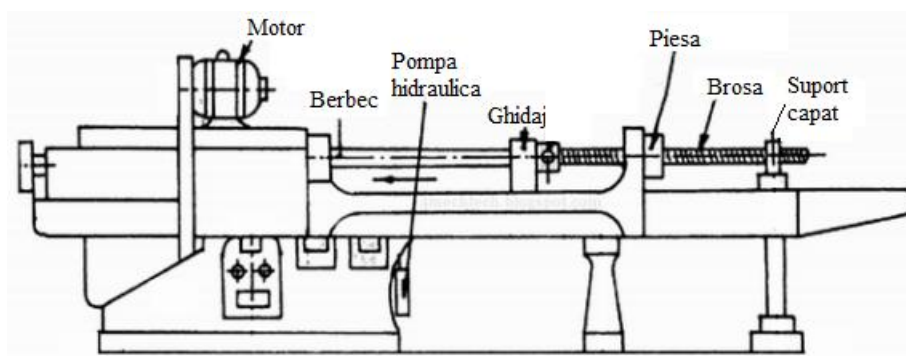


Fig. 3.23. Componentele principale ale unei mașini de broșat orizontale (Slide Player, n.d.)

3.8. Mașini de rectificat

Rectificarea este o operație de finisare a suprafețelor care constă în îndepărtarea adaosului de prelucrare (un strat subțire de pe suprafața piesei) prin acțiunea a unei scule numită piatră abrazivă și a unor mișcări reciproce

între sculă și piesa de prelucrat. Mișcările de așchiere sunt mișcări de rotație și de avans, executate de către sculă și/sau piesă, depinzând de tipul suprafeței prelucrate (Swift & Booker, 2013; Strnad, 2019).

De regulă adaosul de prelucrare este mic: 0,1...0,5 mm. El este îndepărtat de pe suprafața piesei prin efectul abraziv, micro-așchietor al granulelor abrazive din piatra abrazivă. Piatra abrazivă este compusă din granule abrazive prinse într-o masă de liant (Swift & Booker, 2013; Strnad, 2019).

Rectificarea poate fi folosită pentru prelucrarea unei game variate de materiale, dar cele mai bune rezultate se obțin atunci când piesele au o duritate medie sau mare și sunt rigide. Dacă piesele sunt flexibile, acestea se deformează sub acțiunea forțelor de așchiere.

Mișcarea principală de așchiere este efectuată de piatră (discul abraziv) în cazul acestui proces. Datorită vitezelor mari necesare pentru o bună rectificare (30-50 m/s), pietrele de mari dimensiuni sunt cuplate direct la motor, iar între pietrele mai mici și motor se interpune o transmisie cu curea cu efect multiplicator al turației.

Turația pietrei abrazive se calculează cu relația:

$$n = \frac{60 \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D} [\text{min}^{-1}] \quad (3.1)$$

unde:

- v = viteza de așchiere [m/s];
- D = diametrul pietrei abrazive [mm].

Variante ale procedurii de rectificare

Există mai multe variante ale rectificării, în funcție de forma semifabricatului:

- rectificarea plană (fig. 3.24, fig. 3.25);
- rectificarea rotundă, atât la exterior, cât și la interior (fig. 3.26);
- rectificarea fără centre (en: centerless), pentru piese rotunde subțiri și lungi (fig. 3.27, fig. 3.28);
- rectificarea planetară (fig. 3.29);
- rectificarea (ascuțirea) sculelor așchietoare (fig. 3.30);
- rectificarea profilată;
- rectificarea filetelor (fig. 3.31);
- rectificarea roților dințate.

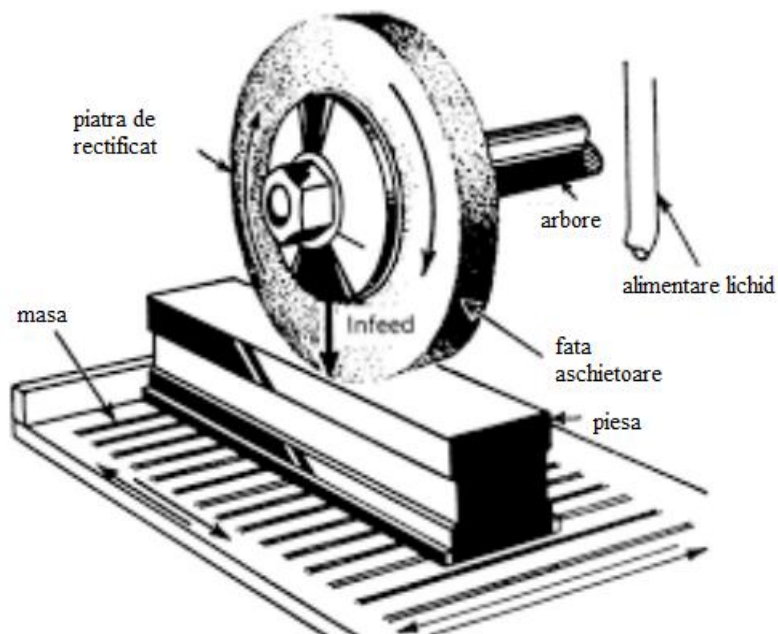


Fig. 3.24. Rectificarea plană pe mașini cu arbore orizontal (Google, n.d.)

Sculele de rectificat, adică pietrele abrazive, sunt formate din granule abrazive și un liant. Acestea au forme extrem de diferite în funcție de utilizare, în anumite cazuri fiind cumpărate cu geometria necesară, iar în alte cazuri fiind profilate pe mașina de rectificat cu scule diamantate.

Particulele abrazive au o mare importanță deoarece ele realizează îndepărtarea propriu-zisă a materialului. Cu cât granulația lor este mai mare cu atât aşchiază mai rapid, însă produc o suprafață mai rugoasă. Materiale uzuale pentru aceste particule sunt electrocorindonul (oxid de aluminiu), carbura de siliciu, iar pentru materiale foarte dure nitrura cubică de bor și diamantul.

Liantul dă rigiditatea pietrei de rectificat și în același timp determină cât de ușor se desprind granulele. Folosirea unei matrici foarte rezistente va da o durabilitate mare pietrei, însă e posibil ca granulele să se tocească și să nu taie eficient. O matrice mai moale, precum cauciucul, va conduce la obținerea unor rugozități mici. Pentru alegerea unei pietre abrazive potrivite și a unui regim eficient pentru ea este indicat să se consulte producătorul. Astfel lianți uzuali pentru pietre sunt cei polimerici (rășini, cauciuc), ceramici sau chiar și metalici.



Fig. 3.25. Mașină de rectificat plan (Made in China, n.d.)

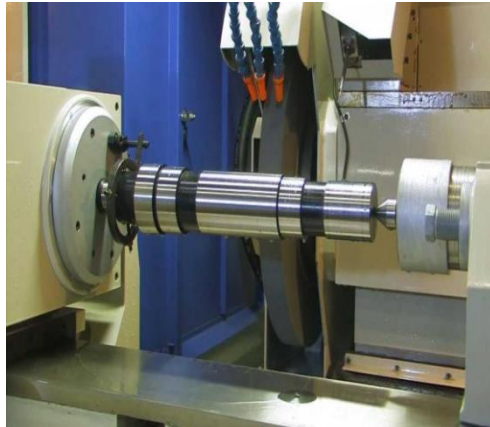


Fig. 3.26. Rectificare între vârfuri pe mașina de rectificat rotund

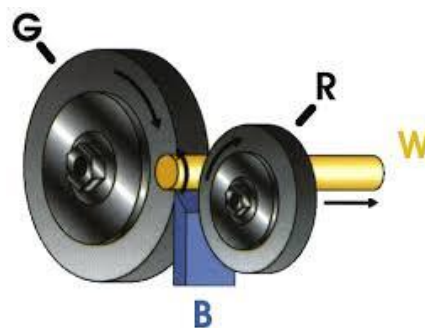


Fig. 3.27. Rectificarea fără centre (Google, n.d.)



Fig. 3.28. Mașină de rectificat fără centre (Google, n.d.)

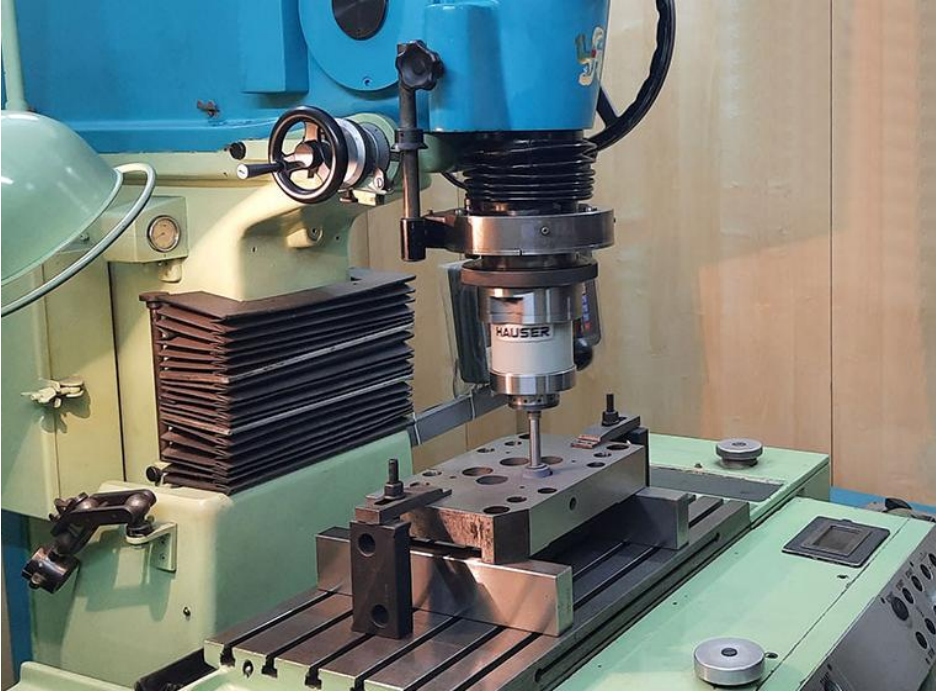


Fig. 3.29. Mașină de rectificat planetar (Micro Special Tools, n.d.)

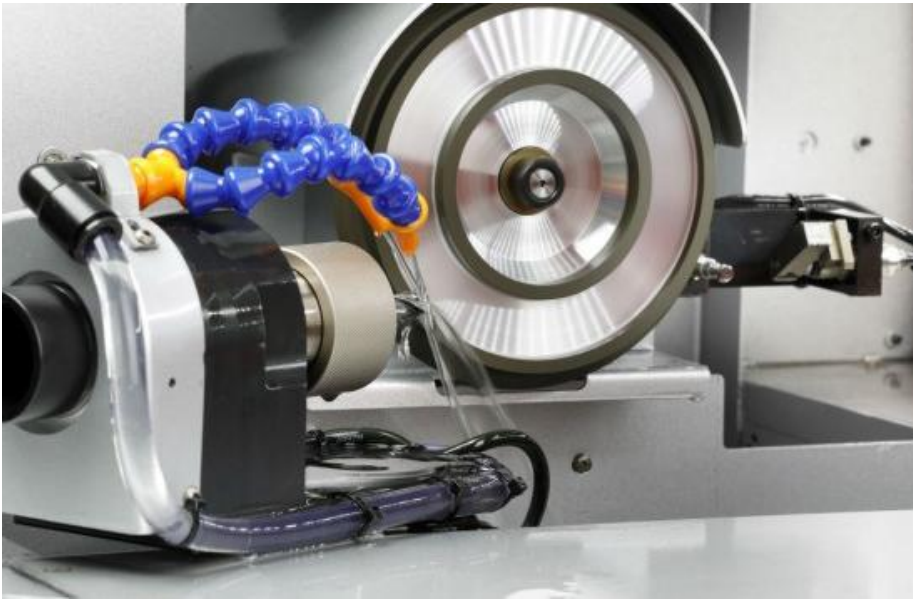


Fig. 3.30. Mașină de ascuțit scule (Cuoghi, n.d.)



Fig. 3.31. Mașină de rectificat filete (SJR Machinery Limited, n.d.)

Rectificarea poate fi folosită pentru orice serie de producție de la unicat la producție de masă. Costul sculelor este scăzut, însă mașinile sunt scumpe datorită preciziei ridicate de prelucrare. Cu cât acestea sunt mai automatizate sau au mai multe axe cinematice (ex.: mașini de ascuțit scule așchietoare), costul lor crește. În funcție de dificultatea pieselor și de complexitatea mașinii, utilizarea lor devine mai scumpă datorită forței de muncă mai calificate.

Există și situații în care rectificarea se suprapune ca și capabilități cu alte procese precum strunjirea și frezarea. De multe ori pe centrele de prelucrare CNC moderne se pot obține preciziile și rugozitățile pentru care în mod normal este necesară rectificarea. Firme mari producătoare de mașini-unelte CNC (ex.: DMG Mori) prezintă adesea situații în care strunjirea pieselor călite cu scule CBN (nitrura cubica de bor) elimină nevoia rectificării.

Aplicațiile pentru care se recomandă operații de finisare prin rectificare sunt finisarea suprafețelor cu o rugozitate scăzută ($R_a = 0,2 - 0,8 \mu\text{m}$) și a cotelor precise (trepte de precizie IT 4 și 5).

Pentru o bună rectificarea a pieselor există câteva recomandări de care trebuie ținut cont în procesul de proiectare:

La proiectarea pieselor ce urmează a fi finisate prin rectificare trebuie să se țină seama de următoarele aspecte:

- pe mașinile clasice, fără comandă numerică, se pot rectifica în general doar suprafețe plane, cilindrice sau conice, sau roți dințate, dacă mașina este special gândită pentru acest proces;
- cu cât adaosul de material este mai mic, cu atât rectificarea se realizează mai rapid și cu un consum mai scăzut al pietrei abrazive; adaosuri uzuale sunt 0.1 - 0.5 mm;
- în cazul pieselor care trec prin tratamente termice este important să se ia în considerare eventualele deformații și să se lase un adaos suficient de finisare;
- acolo unde piesele au un umăr și se rectifică cel puțin una dintre ele până la umăr este necesară prelucrarea unor canale de degajare înainte de finisare; în caz contrar e posibil ca discul abraziv să nu îndepărteze materialul de la intersecția celor două suprafețe;
- în cazul pieselor puțin rigide este necesară găsirea unor dispozitive de sprijin, în caz contrar rezultatele finisării dovedindu-se nesatisfăcătoare.

3.9. Mașini de honuit și mașini de lepuț

Honuirea (fig. 3.32) este un proces de finisare pentru alezaje în care un suport cu segmente abrazive realizează atât o mișcare de rotație, cât și o mișcare rectilinie alternativă, de avans longitudinal. Segmentele nu sunt fixe pe suport, ci sunt presate pe suprafața piesei (fig. 3.33), iar scula poate să se

alinieze cu axa alezajului datorită unor cuple cardanice. Prelucrarea are loc cu viteze reduse și cu ulei care are rolul de a scădea forțele de frecare, de a îndepărta așchiile și de a îmbunătăți rugozitatea suprafeței. Acest proces poate corecta abateri geometrice precum circularitatea și cilindricitatea.

Printre piesele supuse cel mai des acestui procedeu se numără cilindrii din blocurile motoare. În cazul lor, honuirea se realizează cu segmente cu granulație mică, iar urmele fine (fig. 3.34) rămase pe suprafața acestora formează mici buzunare pentru ulei, astfel încât segmentii de pe piston să aibă o frecare cât mai redusă cu cilindrul.

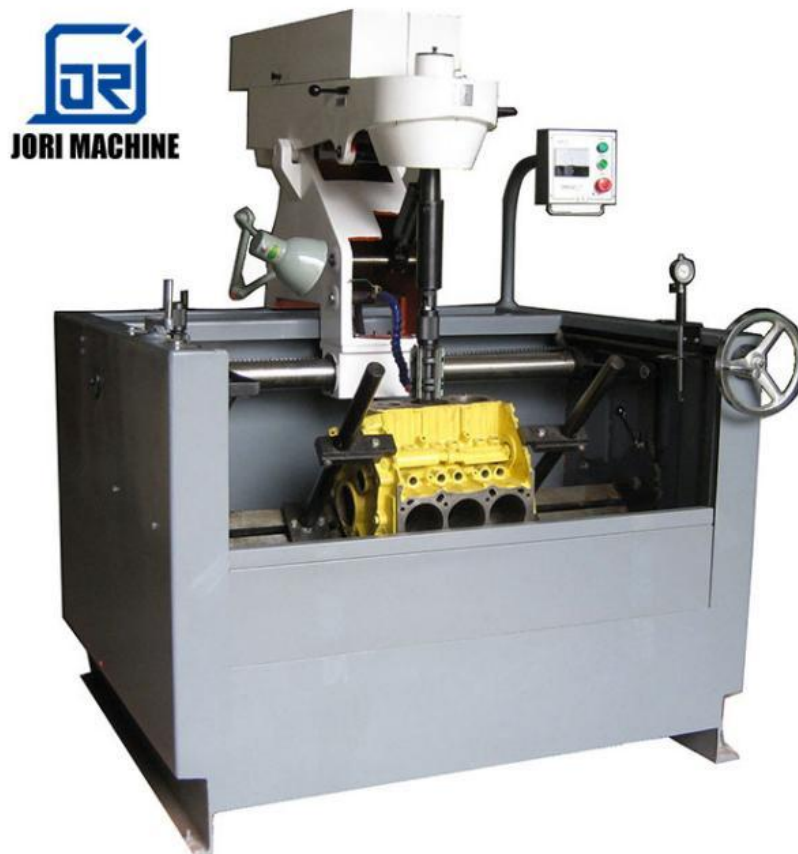


Fig. 3.32. Mașină de honuit (Google, n.d.)

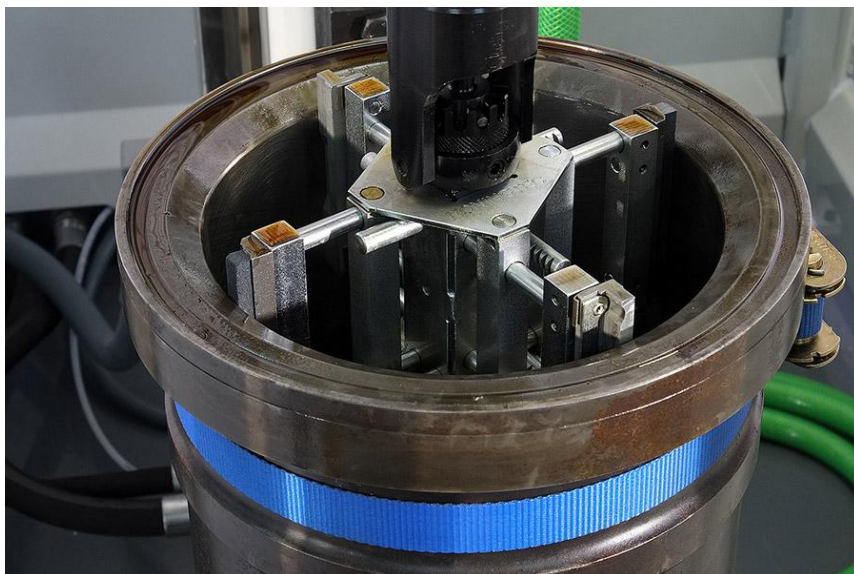


Fig. 3.33. Honul cu segmente abrazive (Google, n.d.)

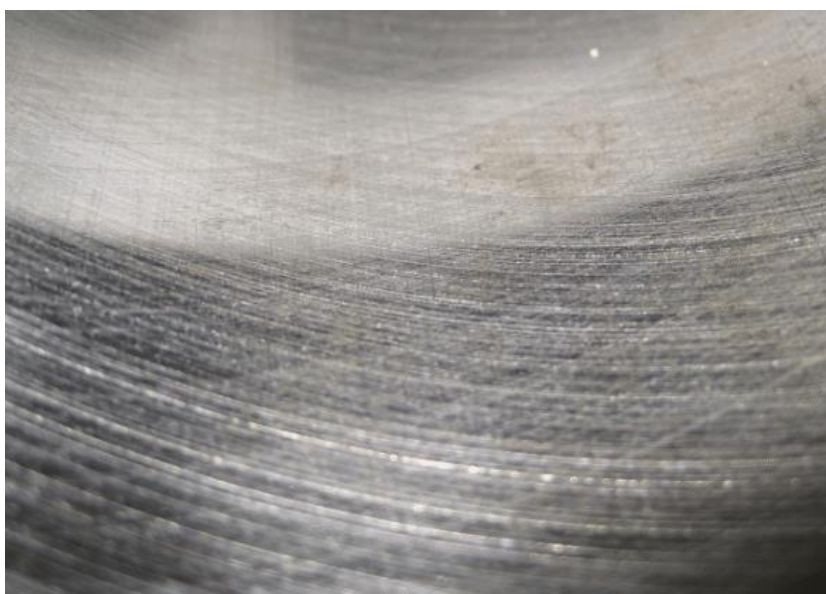


Fig. 3.34. Forma asperităților pe suprafața prelucrată (Google, n.d.)

Lepuirea este un proces de finisare în care suprafața piesei este șlefuită cu o soluție care conține particule abrazive, cu viteze mici de așchiere. Se

utilizează cel mai adesea pentru suprafețe plane care necesită o planeitate, paralelism, grosime sau rugozitate excelente. Cu ajutorul unor dispozitive speciale se pot prelucra și piese cilindrice (ex.: plunjere pentru pompe de înaltă presiune de la mașini de tăiat cu jet de apă).

Mașinile au o construcție simplă (fig. 3.35), fiind prevăzute cu un platou care se rotește cu viteză redusă. Pe acesta sunt amplasate excentric inele în interiorul cărora se așază piesele și care se rotesc datorită mișcării platoului. Peste piese se așază greutatea care măresc forța de apăsare și cresc rata de îndepărtare a materialului. Un sistem de duze este alimentat de o pompă cu amestecul abraziv pe care îl distribuie pe platou. Amestecul este format dintr-o soluție apoasă sau uleioasă în care se amestecă particule abrazive fine. În funcție de cerințele piesei prelucrate se folosesc diferite amestecuri și materiale pentru platou.



Fig. 3.35. Mașină de lepuit (Google, n.d.)

3.10. Mașini de danturat

3.10.1. Aspecte generale privind transmisiile dințate

Transmisiile dințate au o răspândire foarte mare fiind folosite în numeroase aplicații care necesită transmiterea și transformarea mișcării provenite de la un motor (modificarea cuplului, modificarea turației). Acestea sunt capabile să transmită puteri mari comparativ cu gabaritul lor și au o durabilitate ridicată. Pentru păstrarea unei viteze unghiulare constante și asigurarea unei mișcări de rostogolire între flancurile dinților, profilul acestora reprezintă o curbă elocventă.

Clasificarea angrenajelor se poate face după următoarele criterii:

- poziția axelor roților (axe paralele, axe care se intersectează, axe oarecare).
- forma dinților (dinți dreți, dinți înclinați; dinți curbi).

În figura 3.36 sunt prezentate mai multe exemple de transmisii cu roți dințate.




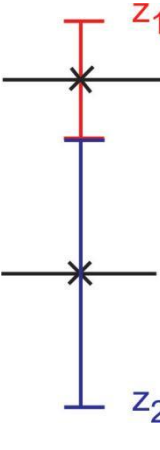
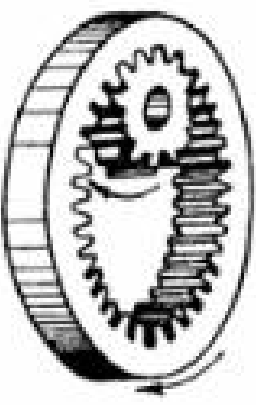
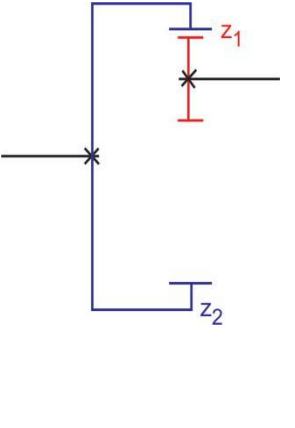
Fig. 3.36. Tipuri de transmisii dințate



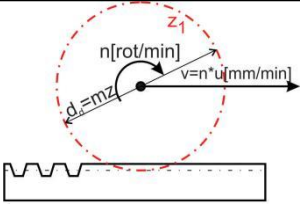
Pentru caracterizarea transformării mișcării realizate de un angrenaj se folosește raportul de transfer. Acesta este definit conform următoarei ecuații:

$$u = \frac{\text{semnal de iesire}}{\text{semnal de intrare}} \quad (3.2)$$

Tabelul 3.1 prezintă mai multe exemple de calcul pentru raportul de transfer în funcție de tipul de angrenaj.

Tabel 3.1. Exemple de calcul pentru raportul de transfer

		$u = \frac{z_1}{z_2}$
		$u = \frac{z_1}{z_2}$

	<p>* k = nr. de începuturi ale melcului</p> <p>* z = nr. de dinți ai rotii melcate</p>	$u = \frac{k}{z}$
		$u = \frac{v}{n}$ $u = \pi \cdot d_d$ $u = \pi \cdot m \cdot z_1$

3.10.2. Elemente geometrice principale ale roților dințate

Roțile dințate cilindrice au o serie de elemente geometrice care le descriu (fig. 3.37):

- cercul de bază;
- cercul de picior;
- cercul de divizare;
- cercul de cap;
- flancurile dinților.

Profilul roților cilindrice, fără deplasare de profil, poate fi definit prin următoarele mărimi:

- număr de dinți (z);
- modul (m);
- unghi de presiune (α).

Elementele geometrice ale roților cilindrice fără deplasări de profil pot fi calculate folosind următoarele relații (fig. 3.37):

- diametrul cercului de cap (exterior): $d_e = m \cdot (z + 2)$;
- diametrul cercului de divizare: $d_d = m \cdot z$;
- diametrul cercului de fund (de picior): $d_f = m \cdot (z - 2.5)$;
- diametrul cercului de baza: $d_b = d_d \cdot \cos \alpha$;
- distanța axială dintre cele două roți: $A = m \cdot (z_1 + z_2)/2$;
- pasul: $p = \pi \cdot m$.

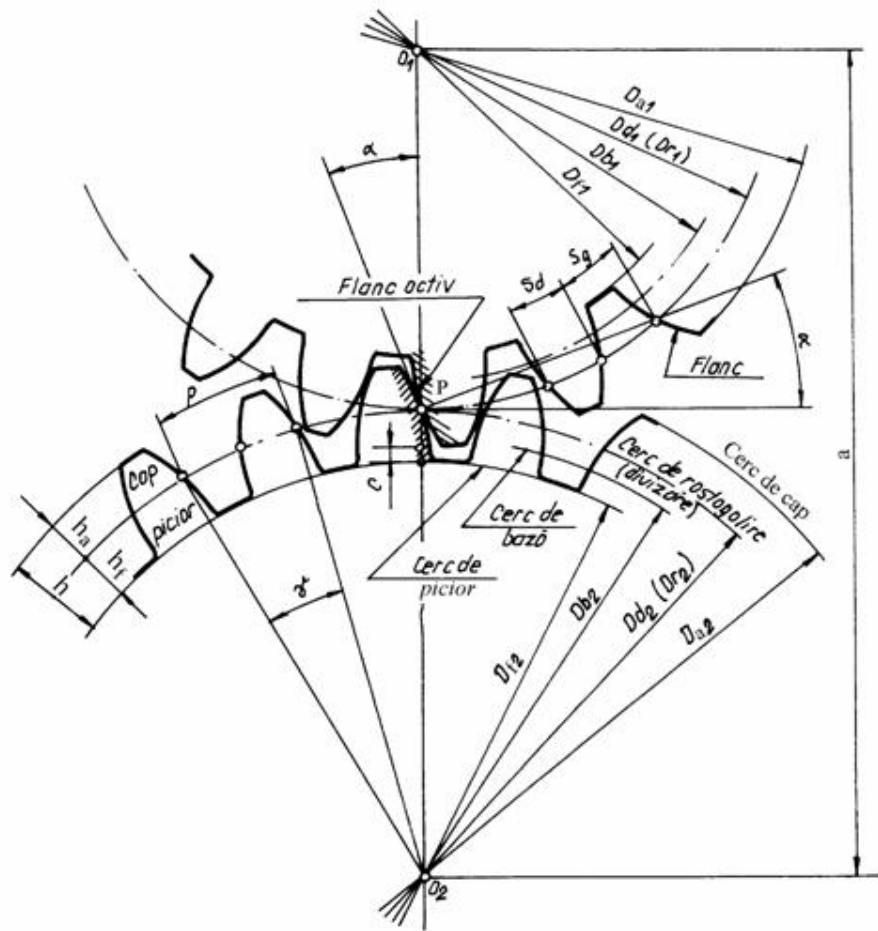


Fig. 3.37. Elemente geometrice ale roților dințate cilindrice

Elementele geometrice ale roților cilindrice fără deplasări de profil pot fi calculate folosind următoarele relații:

- diametrul cercului de cap (exterior): $d_e = m \cdot (z + 2)$;
- diametrul cercului de divizare: $d_d = m \cdot z$;
- diametrul cercului de fund (de picior): $d_f = m \cdot (z - 2.5)$;
- diametrul cercului de baza: $d_e = d_d \cdot \cos \alpha$;
- distanța axială dintre cele două roți: $A = m \cdot (z_1 + z_2)/2$;
- pasul: $p = \pi \cdot m$.

Din rațiuni practice modulele roților dințate sunt standardizate (ex: ...; 1; 1.25; 1.5; 1.75; 2; 2.5; ...).

3.10.3. Procedee de realizare a roților dințate cilindrice

Procedeele de realizare a roților dințate cilindrice se împart în două mari grupe:

- prin copiere:
 - ◆ frezarea cu freza disc – modul;
 - ◆ frezarea cu freza deget – modul;
 - ◆ mortezarea cu cuțit profilat.
- prin rulare:
 - ◆ frezarea cu freza melc – modul (fig. 3.38);
 - ◆ mortezarea cu cuțit roată (fig. 3.39);
 - ◆ mortezarea cu cuțit pieptene;
 - ◆ skiving (fig. 3.40).

O metodă mai nouă de frezare a roților dințate se realizează prin frezarea prin interpolare (fig. 3.41) folosind mașini CNC.



Fig. 3.38. Frezarea cu freza melc – modul (Liebherr, n.d.)



Fig. 3.39. Mortezaarea cu cuțit roată (TOS, n.d.)



Fig. 3.40. Danturarea prin metoda „Skiving” (Danford, 2017)



Fig. 3.41. Frezare prin interpolare (Google, n.d.)

Pentru îmbunătățirea preciziei geometrice și a suprafeței roților dințate se folosesc și următoarele procedee de finisare:

- prin copiere:
 - ◆ rectificarea cu piatra profilată (fig. 3.42);
- prin rulare:
 - ◆ rectificarea cu melc abraziv (fig. 3.43);
 - ◆ rectificarea cu discuri taler (fig. 3.44).



Fig. 3.42. Rectificarea prin copiere (Stark, 2021)

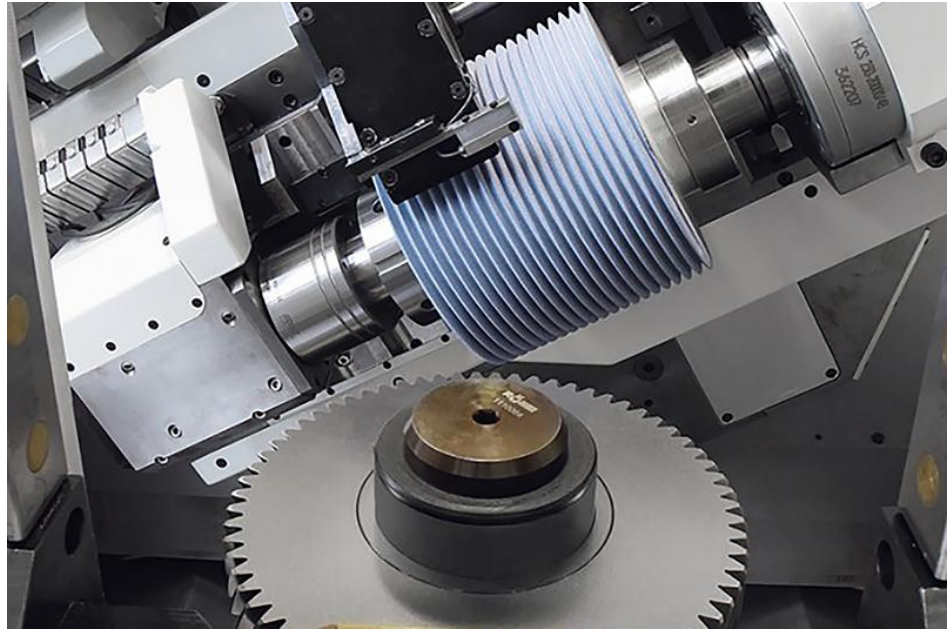


Fig. 3.43. Rectificarea cu melc abraziv (Samputensili, n.d.)

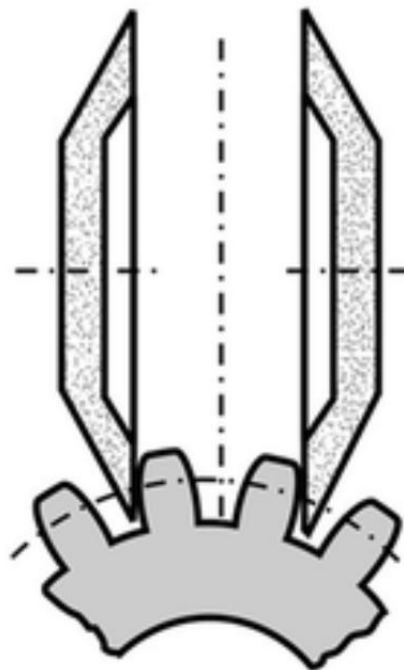


Fig. 3.44. Rectificarea cu discuri taler (Karpuschewski, 2019)

3.10.4. Procedee de realizare a roților dințate conice

Procedeele de realizare a roților dințate conice se împart în funcție de forma danturii acestora:

- pentru dinți drepecți sau înclinați:
 - ◆ rabotarea cu două cuțite (fig. 3.45);
 - ◆ frezarea cu două freze disc (fig. 3.46);
 - ◆ frezarea prin interpolare;
- pentru dinți curbi:
 - ◆ frezarea după metoda Gleason (fig. 3.47);
 - ◆ frezarea după metoda Klingelnberg (fig. 3.48);
 - ◆ frezarea după metoda Oerlikon-Spiromatic (fig. 3.49);
 - ◆ frezarea prin interpolare (fig. 3.50).

Pentru roțile conice cu dinți drepecți există două procedee dedicate: rabotarea cu două cuțite și frezarea cu două freze disc.

Rabotarea cu două cuțite este un proces în care cele două scule materializează flancurile dintelui unei roți plane care angrenează cu roata piesă.

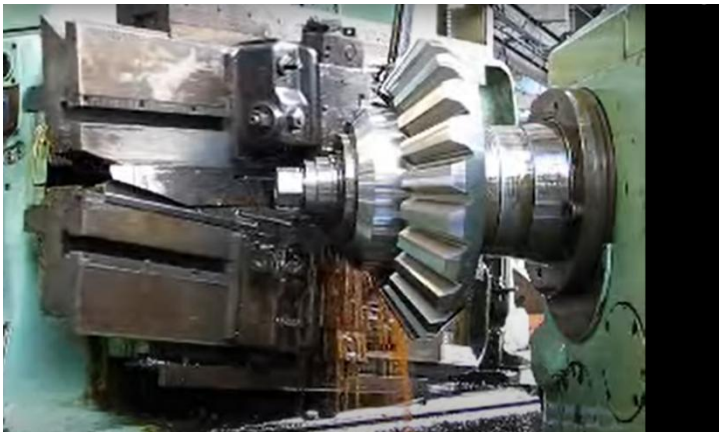


Fig. 3.45. Rabotarea cu doua cuțite (Google, n.d.)



Fig. 3.46. Frezarea cu doua freze disc (Google, n.d.)

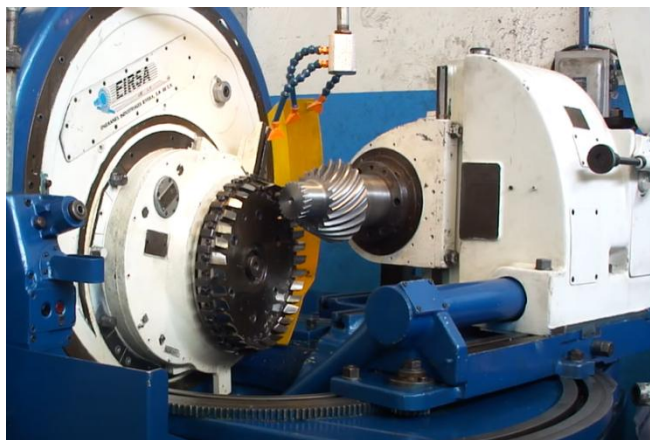


Fig. 3.47. Frezarea după metoda Gleason (Google, n.d.)



Fig. 3.48. Frezarea după metoda Klingelnberg (Google, n.d.)



Fig. 3.49. Frezarea după metoda Oerlikon-Spiromatic (Google, n.d.)

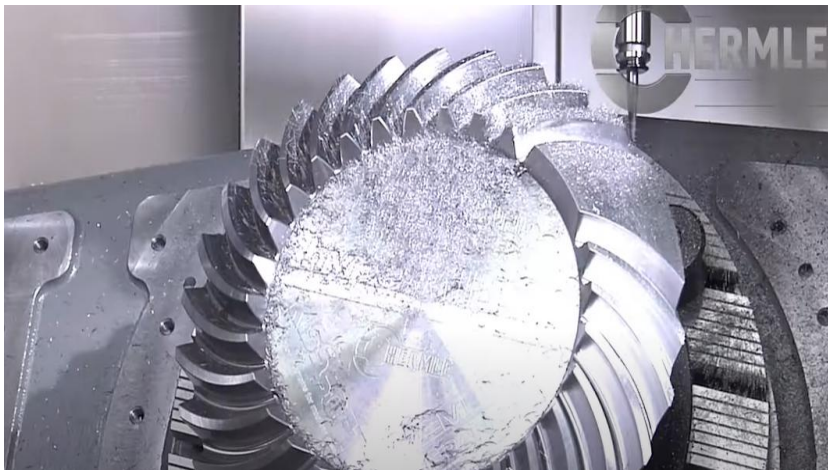


Fig. 3.50. Frezarea prin interpolare (Google, n.d.)

3.11. Tehnologii neconvenționale

Procedeele neconvenționale de fabricație pot fi clasificate în funcție de sursa de energie folosită pentru prelucrare (Youssef & El-Hofy, 2008):

- procese mecanice, în care prelucrarea se realizează cu

particule abrazive;

- procese chimice sau electrochimice, în care materialul se îndepărtează datorita unor reacții chimice;
- procese termoelectrice, în care materialul este topit și evaporat;

Printre acestea se numără:

- prelucrarea cu jet de apă;
- electroeroziunea;
- eroziune electrochimică;
- prelucrare cu ultrasunete;
- tehnologiile aditive (printarea 3D).

3.11.1. Prelucrarea cu jet de apă

Prelucrarea cu jet de apă este un proces în care un debit de apă este comprimat la o presiune ridicată, este apoi amestecat cu o anumită cantitate de material abraziv (ex: granat) și este expulzat printr-o duza unde presiunea se transformă în viteză (Korat & Acharya, 2014). Particulele abrazive sunt și ele accelerate odată cu apa și datorită vitezei mari realizează așchieră. În figura 3.51 se prezintă schema unei astfel de instalații, iar în figura 3.52, schema capului de tăiere.

Pompele reprezintă cea mai sofisticată componentă a unei astfel de mașini și sunt de două tipuri:

- cu plunjere antrenate direct (presiune maximă de 2700 bari);
- cu plunjere antrenate de un amplificator de presiune cu ulei (presiune maximă de 4000 bari).

Ambele variante se găsesc implementate în modele comerciale, iar părțile diferă în privința lor. În general se consideră că pompele cu

antrenare directă sunt mai eficiente energetic, în timp ce cele cu amplificator pot realiza presiuni mai mari și pot tăia mai rapid materialul și cu un consum mai scăzut de abraziv.

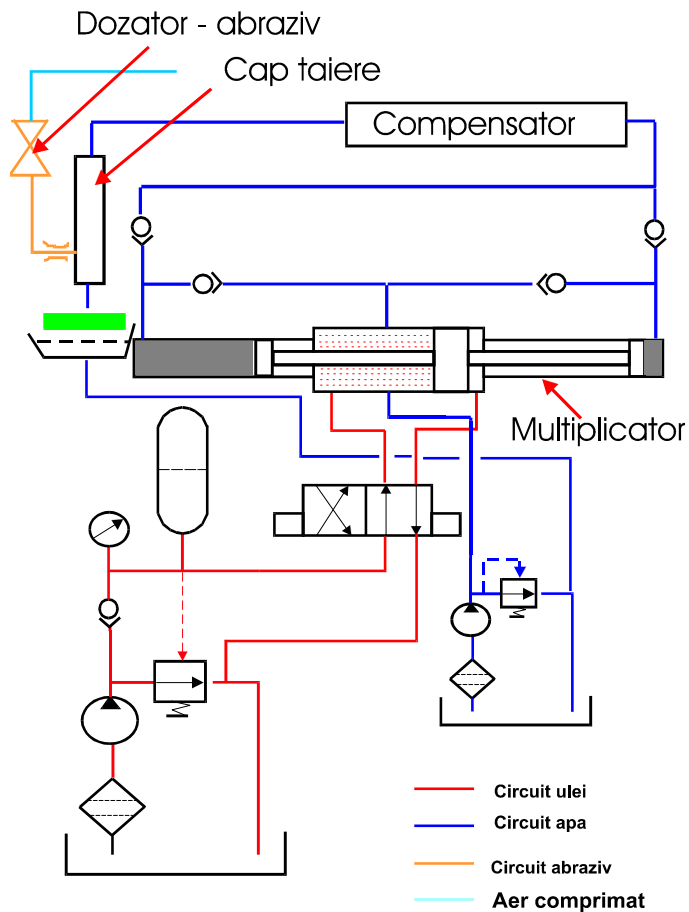


Fig. 3.51. Schema de principiu a mașini de tăiere cu jet de apă (Google, n.d.)

Prin acest proces se realizează debitarea diferitelor piese, iar mașinile pot fi echipate pe lângă 3 axe liniare și cu 2 axe de rotație pentru schimbarea orientării capului (fig. 3.53). Avantajele procesului constau în faptul că poate fi folosit pentru tăierea materialelor dure sau abrazive, nu

distorsionează piesa și nici nu modifică structura acestuia. Această tehnologie poate fi folosită și pentru materiale uzuale, dar și pentru oțeluri călite, pentru carburi metalice, materiale ceramice sau materiale compozite, precum fibra de carbon.

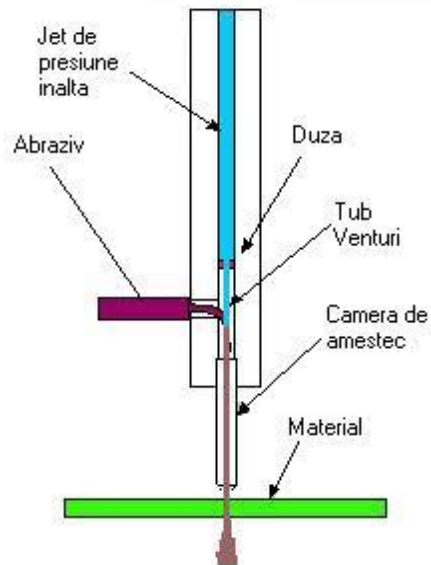


Fig. 3.52. Schema capului de tăiere cu jet de apă (Google, n.d.)



Fig. 3.53. Mașină de tăiat cu jet de apă cu 5 axe (Resato, n.d.)

3.11.2. Electroeroziunea

Electroeroziunea este un procedeu în care între un electrod (scula) și piesa se produc mici descărcări electrice datorită unor pulsuri de curent și a unei distanțe mici. Pentru facilitarea apariției scânteilor se folosește un lichid dielectric pe baza de apă sau de produse petroliere. Descărcarea electrică are rolul de a vaporiza materialul piesei care este îndepărtat de dielectric. Lichidul este în permanență filtrat de resturi de material și impurități și recirculat. În figura 3.54 se prezintă schema de principiu a procesului.

Există trei variațiuni ale acestei tehnologii:

- electroeroziune cu fir (fig. 3.55);
- electroeroziune cu electrod masiv (fig. 3.56);
- găurire prin electroeroziune (fig. 3.57).

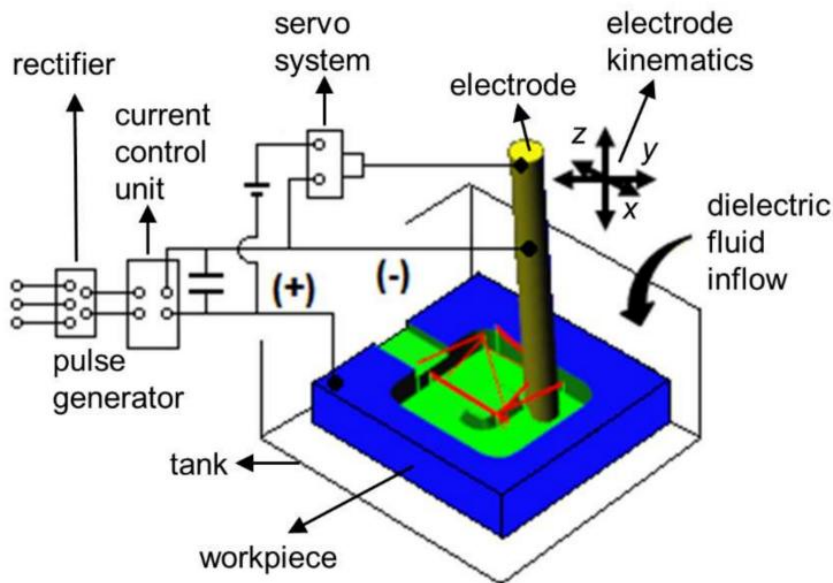


Fig. 3.54. Electroeroziunea – schemă de principiu (Sabotin, Tristo & Valentinčić, 2020)

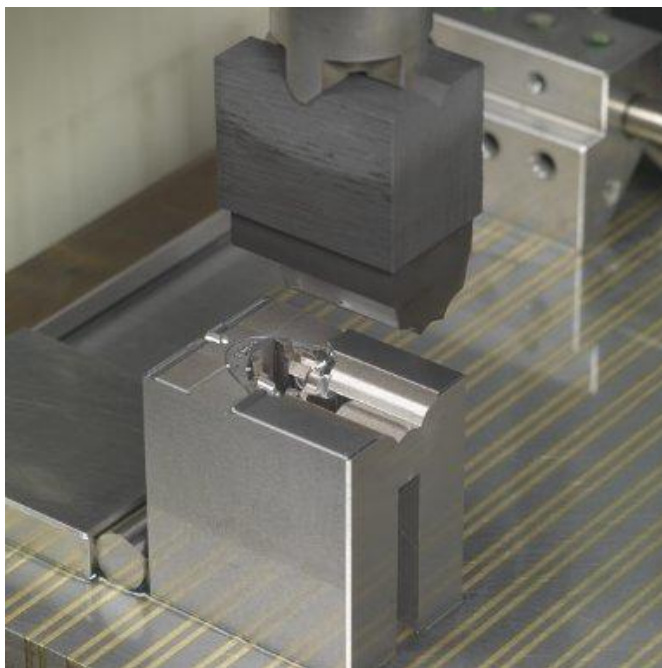


Fig. 3.55. Electroeroziune cu electrod masiv (Summit Tooling, n.d.)

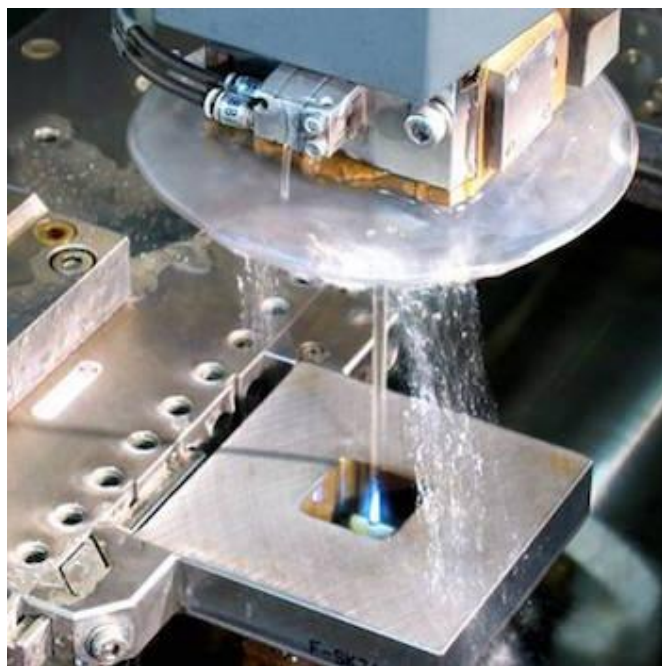


Fig. 3.56. Electroeroziune cu fir (Google, n.d.)

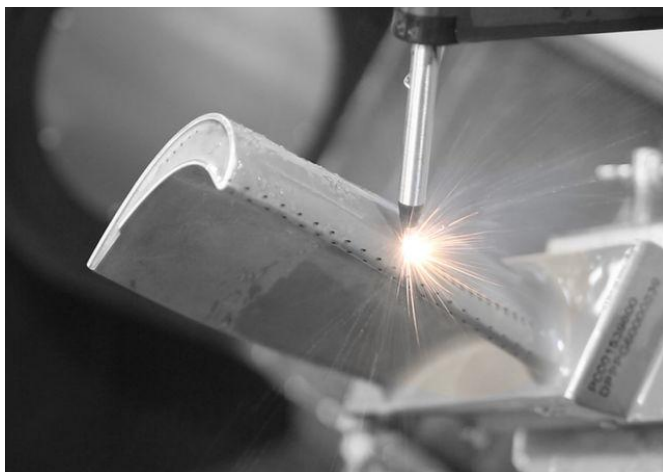


Fig. 3.57. Găurire prin electroeroziune (Wixstatic, n.d.)

3.11.3. Eroziunea electrochimică

Eroziunea electrochimică realizează îndepărtarea de material printr-un proces de electroliză. Între sculă și piesă trece un curent electric continuu, piesa reprezentând anodul, adică electrodul pozitiv. Soluția de apă și sare folosită între cele două piese are rolul de a îndepărta materialul erodat din zona de lucru (Davydov, Volgin & Lyubimov, 2004). Procesul funcționează fără uzură a sculei, astfel încât poate fi folosit în producția de serie. În figura 3.58 se prezintă o schemă de principiu a tehnologiei, iar în figura 3.59 un exemplu de procesare.

Eroziunea electrochimică se folosește pentru materiale dure, greu de procesat în alt mod, sau cu geometrii deosebite. Se utilizează pentru realizarea unor forme complexe, găuri cu secțiuni variabile sau axe curbe sau pur și simplu pentru îndepărtarea unui strat superficial de material (ex: stratul afectat de căldură în cazul prelucrării prin electroeroziune) (Davydov, Volgin & Lyubimov, 2004). Are numeroase avantaje față de electroeroziune, precum faptul că produce o suprafață cu o rugozitate foarte bună și are

costuri reduse în producția de serie, însă la fel ca și pentru celălalt proces, piesa și scula trebuie să conducă curentul și are un cost mai ridicat în faza de pregătire a fabricației.

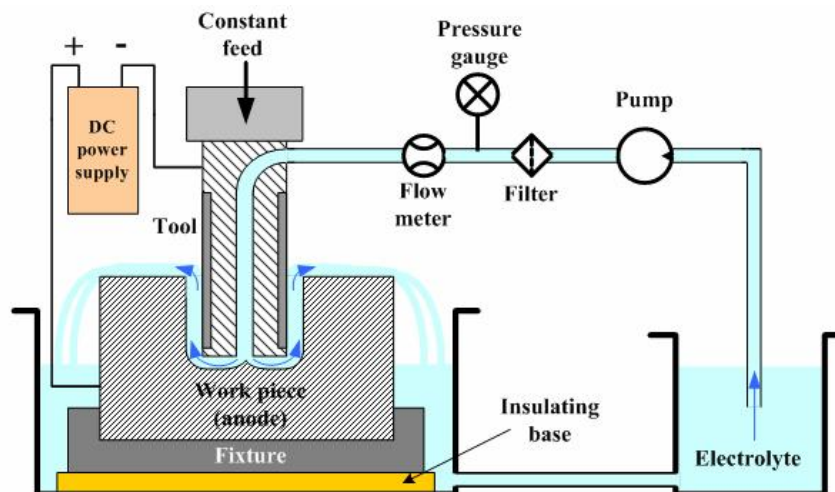


Fig. 3.58. Principiul funcționării eroziunii electro-chimice (Kopeliovich, n.d.)



Fig. 3.59. Exemplu de prelucrare prin eroziune electro-chimică (Felix, 2012)

3.11.4. Prelucrare cu ultrasunete

Prelucrarea cu ultrasunete este un procedeu mecanic de îndepărtare de material în care piese dure sau fragile sunt erodate folosind o sculă profilată care efectuează niște deplasări scurte cu frecvență mare și care folosește o pastă abrazivă (Kumar, 2013). Un traductor generează vibrații cu o frecvență de peste 20 kHz care sunt mai apoi amplificate și trimise în continuare pe direcția longitudinală a sculei. Forma sculei și a amplificatorului au rolul de a-i induce primei o stare de rezonanță și o amplitudine a oscilației de 12-50 μm . Granulele din pasta abrazivă ajung în interstițiul dintre sculă și piesă și cauzează fracturarea unor mici particule de material. În figura 3.60 se arată o schemă de principiu a procesului.

Acest proces de fabricație este folosit cel mai adesea pentru materiale ceramice care sunt foarte dificil de procesat cu precizie prin alte metode. În figura 3.61 se prezintă modul de prelucrare al unui suport ceramic pentru o oglindă.

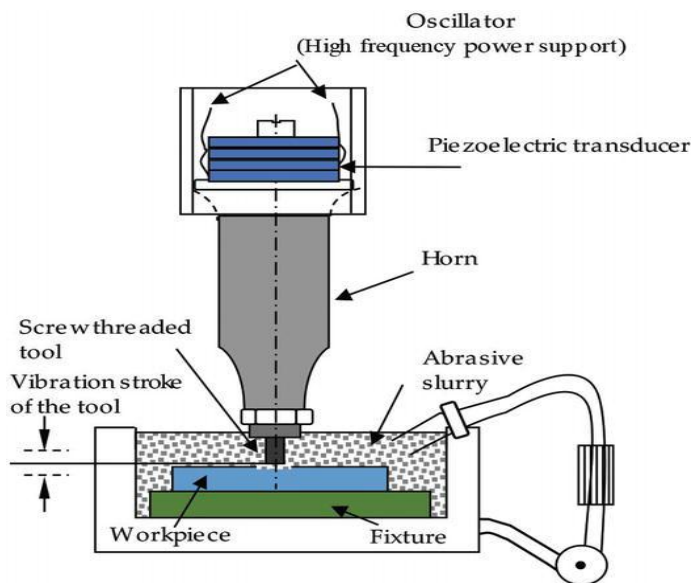


Fig. 3.60. Schema de prelucrare la prelucrarea cu ultrasunete (Wang, 2018)



Fig. 3.61. Exemplu de prelucrarea cu ultrasunete (Feucht, 2014)

3.11.5. Tehnologii aditive

Tehnologiile aditive, cunoscute și sub denumirea de printare 3D, funcționează prin adăugare de material spre deosebire de celelalte procedee de fabricație care îndepărtează sau deformează materialul. Piesa este realizată strat cu strat până când ajunge la dimensiunea dorită. În funcție de proces și de forma piesei pot fi necesari suporți pentru aceasta care se construiesc în procesul tehnologic deodată cu piesa.

Printarea 3D se poate aplica pentru diverse materiale printre care polimeri, metale sau ceramice (fig. 3.62) și poate realiza orice fel de forme, inclusiv cu goluri la interior. Dezavantajul lor în prezent este precizia redusă și rugozitatea mare a pieselor și, din punct de vedere economic, viteza mică de lucru și costul crescut.

Cele mai cunoscute tehnologii aditive sunt:

- FDM (Fused deposition modelling) (fig.3.63);
- SLA (Stereolitography);
- LOM (Laminated object manufacturing);
- Material jetting;
- Binder jetting;
- SLS (Selective laser sintering);

- SLM (Selective laser melting) (fig. 3.64);
- EBM (Electron beam melting).

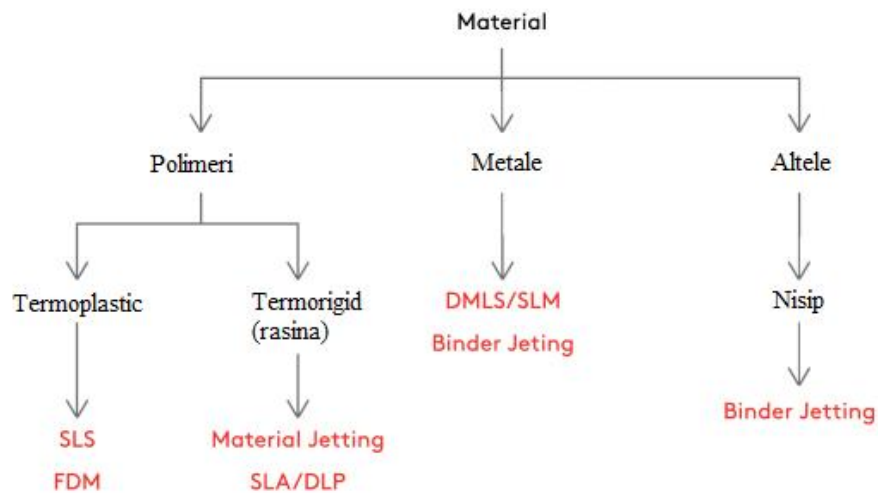


Fig. 3.62. Materialele cu care operează diferite tehnologii aditive (Hubs, n.d.)

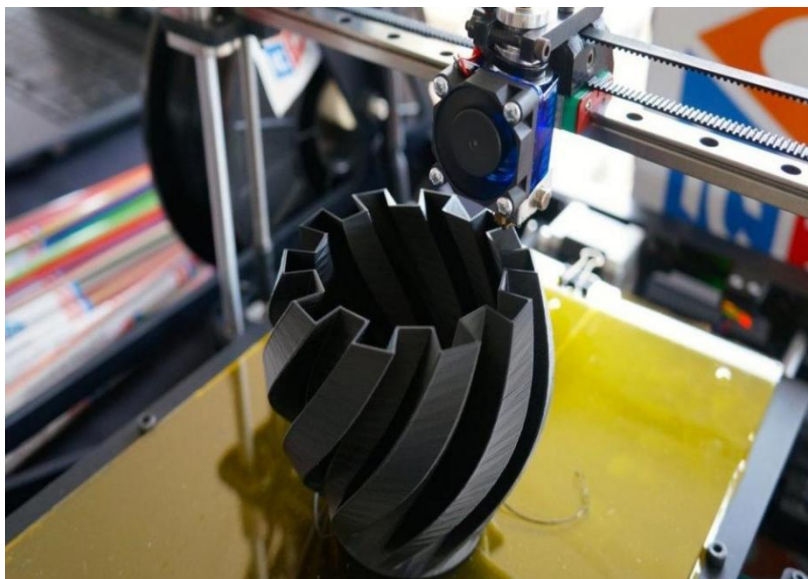


Fig. 3.63. Piesă realizată prin FDM (Grames, 2020)



Fig. 3.64. Piese realizate prin SLM (Listek, 2021)

Grosimea stratului depus diferă între procedee, fapt evidențiat în tabelul 3.2. Cu cât grosimea stratului scade se obține o precizie mai bună a piesei (fig. 3.65), însă timpul de fabricație crește substanțial.

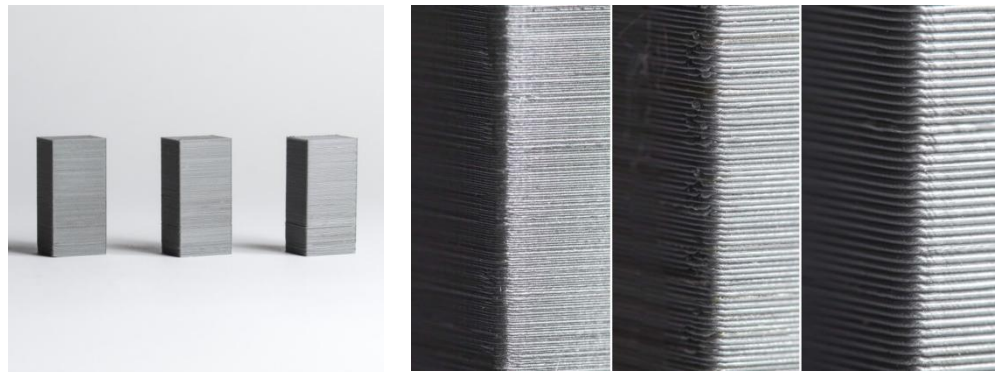


Fig. 3.65. Comparație între 50, 100 și 200 μm prin FDM (Hubs, n.d.)

Tabelul 3.2. Grosimea stratului depus pentru diferite procese aditive (Hubs, n.d.)

Procedeu de fabricație	Grosimea tipică a stratului
FDM	50 - 400 μm (tipic: 200 μm)
SLA	25 - 100 μm (tipic: 50 μm)
SLS	80 - 120 μm (tipic: 100 μm)
Material jetting	16 - 30 μm (tipic: 16 μm)
Binder jetting	100 μm
DMLS/SLM	30 - 50 μm

Datorită faptului că piesele se realizează prin depunere de straturi succesive, acestea prezintă anizotropie pentru majoritatea procedeelelor. Figura 3.66 arată o comparație între două piese cu aceeași geometrie, însă cu direcții diferite de depunere a stratului. Cea din stânga a fost printată cu straturile depuse perpendicular pe axa piesei, iar cea din dreapta paralel. Se observă de asemenea că poziția de printare influențează și precizia sa.

Factorii care influențează anizotropia pieselor sunt:

- orientarea piesei pe masa mașinii
- procedeul de fabricație aditivă folosit.

În cazul FDM, rezistența în planul printării este de 4-5 ori mai mare decât rezistența pe direcție perpendiculară (fig. 3.67).



Fig. 3.66. Aceeași piesă realizată în diferite poziții prin FDM (Hubs, n.d.)

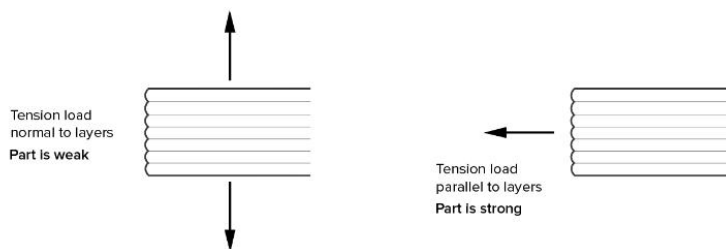


Fig. 3.67. Rezistența în funcție de planul printării (Hubs, n.d.)

Dimensiunile de gabarit pentru câteva dintre cele mai uzuale procese aditive sunt redate în tabelul 3.3 și la fel grosimea minimă a peretelui în tabelul 3.4.

Tabelul 3.3. Dimensiuni de gabarit maxime pentru piese în funcție de proces (Hubs, n.d.)

FDM	200 x 200 x 200 mm pentru imprimante desktop până la 900 x 600 x 900 mm pentru
-----	---

	imprimante industriale
SLA	145 x 145 x 175 mm pentru imprimante desktop pana la 1500 x 750 x 500 mm pentru imprimante industriale
SLS	300 x 300 x 300 mm pana la 750 x 550 x 550 mm
Material Jetting	380 x 250 x 200 mm pana la 1000 x 800 x 500 mm
Binder Jetting	400 x 250 x 250 mm pana la 1800 x 1000 x 700 mm
DMLS/SLM	250 x 150 x 150 mm pana la 500 x 280 x 360 mm

Tabelul 3.4. Grosimea minimă a peretelui pentru diferite tehnologii (Hubs, n.d.)

FDM	0.8 mm
SLA	0.5 mm
SLS	0.7 mm
Material Jetting	1.0 mm
Binder Jetting	2.0 mm
DMLS/SLM	0.4 mm

CAPITOLUL 4. ROBOȚI INDUSTRIALI

4.1. Rolul tehnologiilor de automatizare în proiectare

Cunoașterea modalităților de automatizare a producției este importantă pentru dezvoltarea produselor, astfel încât acestea să poată fi fabricate și asamblate într-un timp scurt și cu costuri reduse.

Roboții industriali reprezintă o componentă cheie a procesului de automatizare a unei unități de producție.

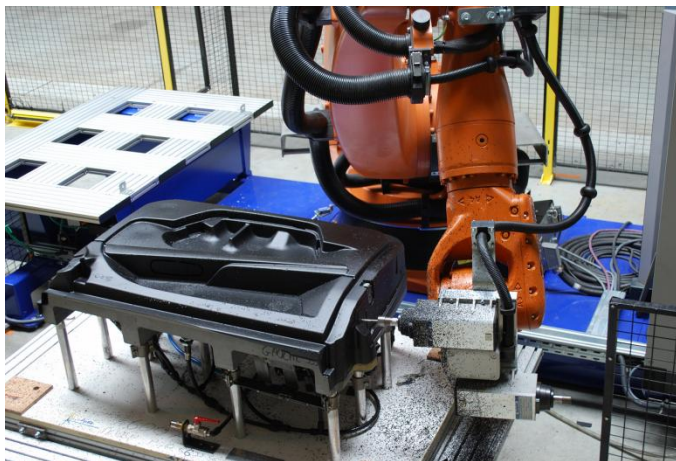


Fig. 4.1. Frezare robotizată (Gebe2, n.d.)

Aceștia sunt folosiți pentru sarcini repetitive sau complexe:

- înlocuirea operatorului unei mașini-unealtă;
- transportarea semifabricatelor sau a pieselor înspre și dinspre depozit;
- deformare plastică;
- frezare (fig. 4.1);

- sudura pieselor (fig. 4.2);
- printare 3D;
- finisarea pieselor (șlefuire, debavurare, vopsire etc.);
- asamblarea pieselor în subansamble sau în produsul final (fig. 4.3).

Exista situații în care o piesă necesită reproiectare pentru simplificarea manipulării sale în timpul asamblării.



Fig. 4.2. Sudură cu ajutorul roboților (EVS, n.d.)



Fig. 4.3. Asamblare cu ajutorul roboților (Bit Rebels, n.d.)

4.2. Tipuri de roboți

În domeniul industrial se folosesc mai multe tipuri de roboți în funcție de specificul aplicației, printre ei numărând-se:

- roboți Delta (fig. 4.4 și 4.5);
- roboți SCARA (fig. 4.6 și 4.7);
- roboți cartezieni (fig. 4.8);
- roboți seriali (fig. 4.9 și 4.10).

Roboții Delta funcționează cu viteze foarte mari și cu precizie ridicată și sunt folosiți în general pentru operații “pick and place”. Sunt folosiți în industria alimentară, farmaceutică și electronică, dar pot fi configurați și pentru a asigura platforma pentru simulatoare de zbor sau auto. Dezavantajul este că au un spațiu de lucru restrâns în raport cu dimensiunea lor.

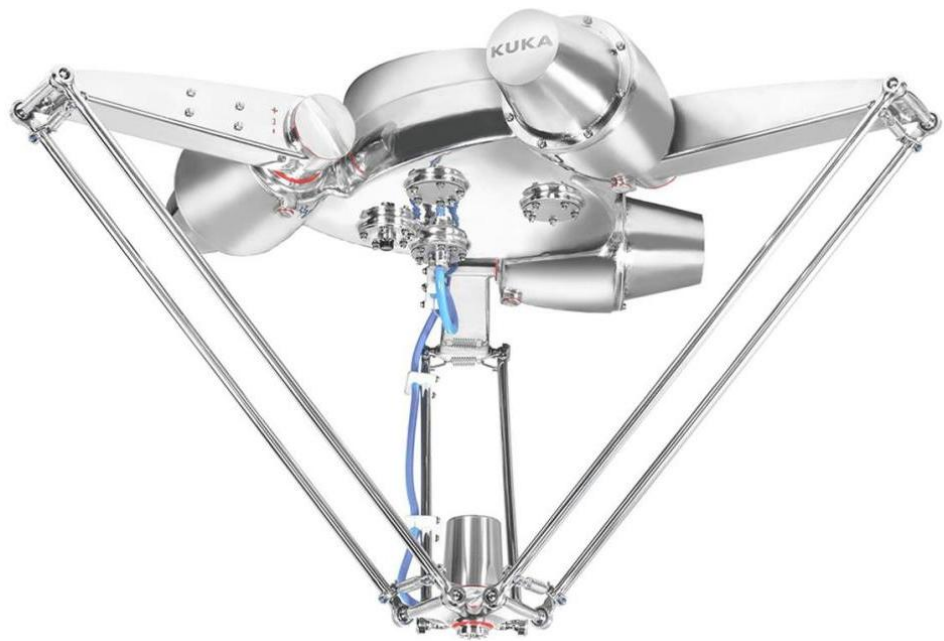


Fig. 4.4. Robot Delta (Kuka, n.d.)

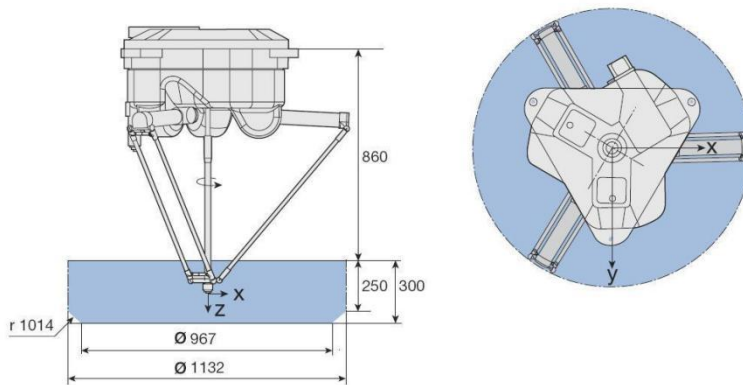


Fig. 4.5. Spațiul de lucru al unui robot Delta (Kuka, n.d.)

Roboții SCARA operează cu viteze mari, au o repetabilitate excelentă și un volum mare de lucru. Sunt folosiți pentru aplicații de asamblare în cazul electronicelor, în domeniul biomedical, pentru împachetare și pentru alimentarea unor utilaje. Datorită axelor cinematice și a poziționării acestora sunt limitați în mișcările pe care le pot executa.



Fig. 4.6. Robot SCARA (Kuka, n.d.)

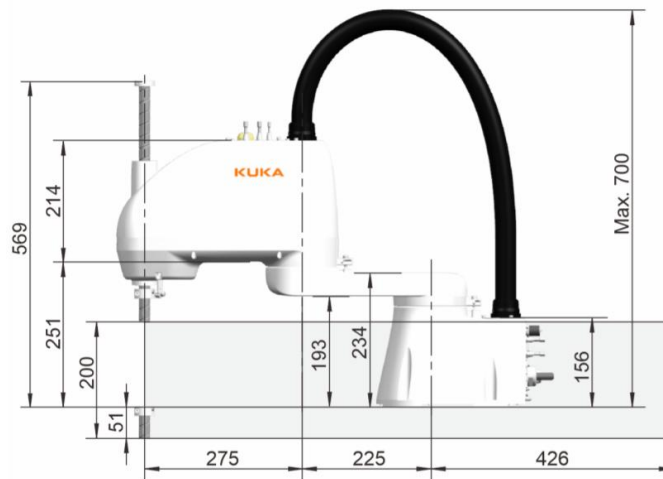


Fig. 4.7. Volumul de lucru al unui robot SCARA (Kuka, n.d.)

Roboții cartezieni, așa cum le sugerează și numele, au 3 axe liniare (X, Y și Z) și pot avea încă 1 sau 2 axe de rotație a efectorului. Au multiple avantaje printre care precizie ridicată de poziționare, programare și operare simple, pot deplasa sarcini mari și au un cost redus pentru suprafața deservită. Dezavantajul este că au nevoie de o zonă mare pentru instalare, aproximativ cât volumul de lucru.



Fig. 4.8. Robot cartezian (Kuka, n.d.)

Roboții seriali au fost proiectați să imite brațul uman. Aceștia au o flexibilitate foarte mare, putând fii orientați în diferite moduri pentru a ajunge în același punct. Pot funcționa cu viteze mari și deserveșc un volum mare de lucru în raport cu suprafața ocupată. Datorită similarității cu brațul uman sunt folosiți pentru numeroase sarcini:

- sudură;
- găurire / frezare;
- deformare plastică;
- debavurare / șlefuire;
- vopsire;
- asamblare (capșe, adeziv, șuruburi);
- alimentare utilaje;
- paletizare.

Sunt printre cei mai des întâlniți și sunt utilizați în numeroase domenii precum cel auto, alimentar, turnătorie etc.



Fig. 4.9. Robot serial (Werktuigen, n.d.)

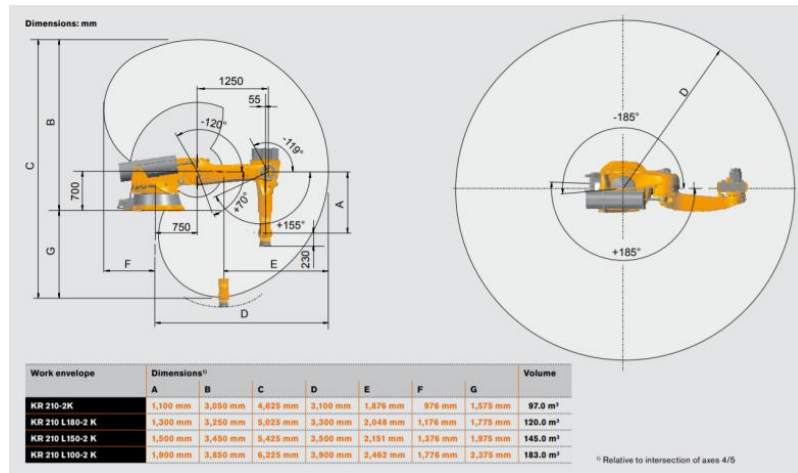


Fig. 4.10. Volumul de lucru al unui robot serial (Kuka, n.d.)

4.3. Elemente de operare

Un robot industrial este format din mai multe elemente decât strict structura cinematică. În figura 4.11 este prezentat un robot serial Kuka care cuprinde un braț robotic 1, sistemul de comandă 2, telecomanda (en: teach pendant) 3 și cablurile de alimentare și de date 4.



Fig. 4.11. Componentele unui robot serial (Kuka, n.d.)

Programarea roboților industriali se poate face în două moduri:

- prin învățare (deplasarea robotului în diferite poziții și orientări, urmate de memorarea acestora);
- prin programare offline (scrierea succesiunii de mișcări ținând cont de un desen tehnic, model CAD etc.).

Partea de operare include următoarele etape:

- măsurarea sculei (originea și orientarea sculei);
- măsurarea bazei (originea și orientarea piesei).

Măsurarea acestora se face prin niște proceduri bine definite de către producătorul robotului, dar presupune pentru fiecare dintre ele alegerea unei origini și atribuirea unui sistem de coordonate care indică și orientarea. Cele 2 etape sunt general valabile pentru orice tip de robot și producător, însă procedurile vor fi detaliate folosind roboți seriali KUKA echipați cu sistem de control KRC 2.

Sistemul de coordonate TOOL (scula) își are originea într-un punct definit de utilizator. Aceasta este numit TCP (Tool Center Point). TCP-ul este în general situat în punctul de lucru al sculei (ex.: vârful frezei). Sunt salvate următoarele date în raport cu coordonatele flanșei (fig. 4.12):

- X, Y, Z: originea sistemului de coordonate al sculei;
- A, B, C: orientarea sistemului de coordonate al sculei.

În cazul roboților KUKA măsurarea originii sistemului de coordonate și a orientării se realizează prin proceduri diferite:

- determinarea originii:
 - ◆ XYZ 4 puncte;
 - ◆ XYZ referință;
- determinarea orientării:
 - ◆ ABC 2 puncte;

◆ ABC World.

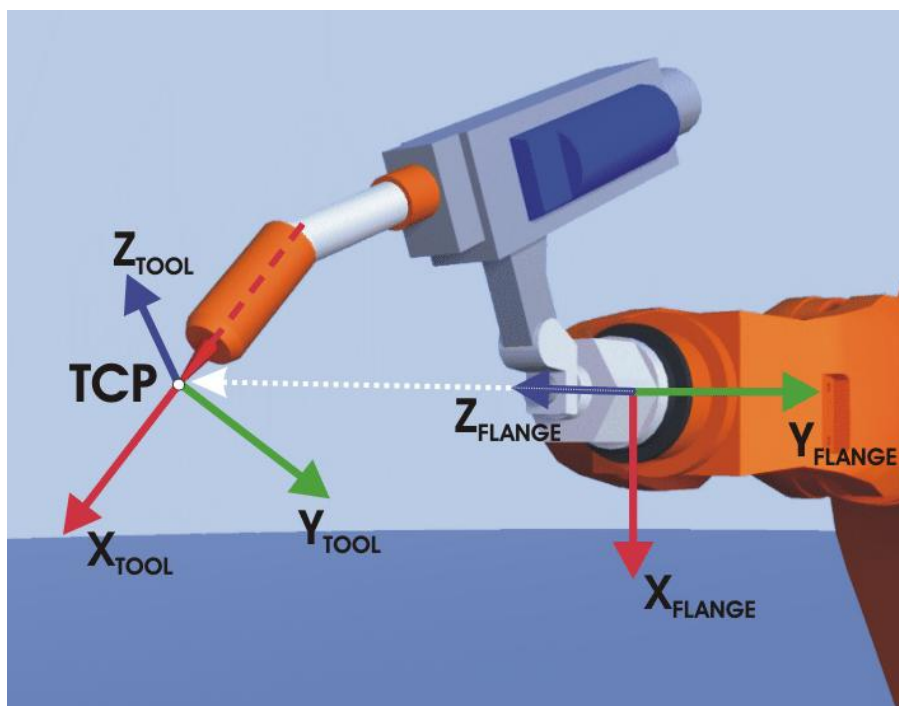


Fig. 4.12. Sistemul de coordonate al sculei în raport cu al flanșei (Kuka, n.d.)

Măsurarea sculei are numeroase avantaje:

- scula poate fi deplasată în linie dreaptă pe oricare din axele sistemului propriu de coordonate;
- scula poate fi rotită în jurul TCP-ului fără a schimba poziția acestuia;
- în modul program, viteza programată este menținută pentru TCP pe întreaga traiectorie.

Există 2 moduri de calibrare a unei baze:

- metoda celor 3 puncte (fig. 4.13);
- metoda indirectă;

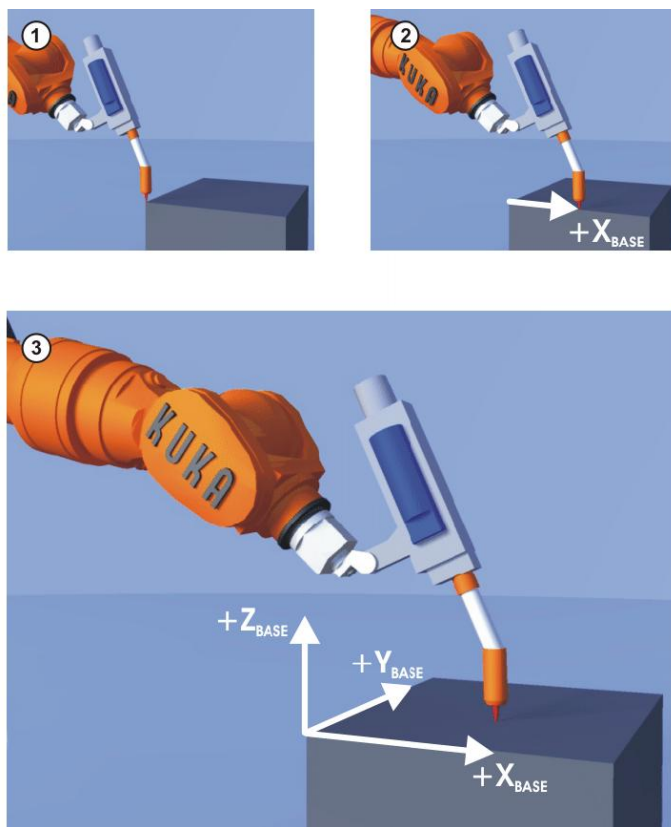


Fig. 4.13. Metoda celor 3 puncte (Kuka, n.d.)

Dacă datele de calibrare sunt deja cunoscute, spre exemplu dintr-un model CAD, acestea pot fi introduse direct, acest lucru fiind valabil atât pentru sculă, cât și pentru piesă.

4.4. Elemente de programare

4.4.1. Instrucțiuni de deplasare

Roboții Kuka pot efectua următoarele tipuri principale de deplasări:

- poziționare PTP (en: point to point);
- mișcare pe linie LIN (en: line);

- mișcare pe arc de cerc CIRC (en: circle).

Traectoria PTP (fig. 4.14) este caracterizată de următoarele elemente:

- robotul ghidează TCP-ul pe calea cea mai rapidă până la punctul final;
- cea mai rapidă cale nu este în general cea mai scurtă ca distanță și, prin urmare, nu este o linie dreaptă;
- pentru că robotul are axe de rotație și nu liniare, traseele curbe pot fi executate mai rapid decât liniile drepte;
- calea exactă a mișcării nu poate fi precisă, din acest motiv fiind important ca acest tip de deplasări să se petreacă departe de orice obiecte care ar putea fi lovite.

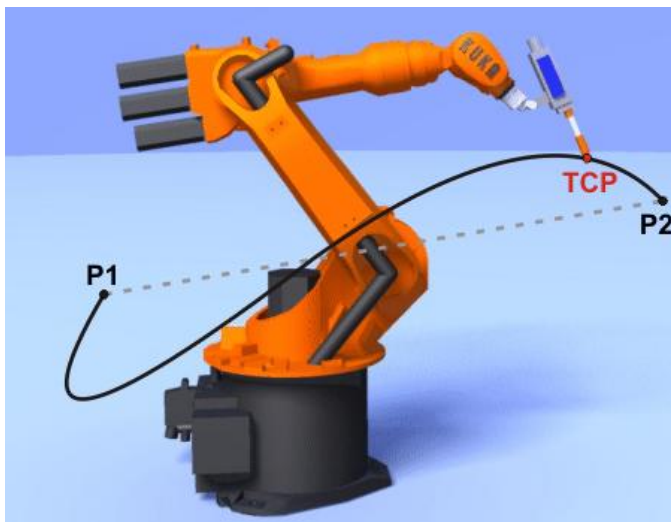


Fig. 4.14. Traiectorie PTP (Kuka, n.d.)

În cazul traiectoriei liniare (fig. 4.15), robotul ghidează TCP-ul din punctul inițial cu o viteză definită de-a lungul unei traiectorii drepte până la punctul specificat.

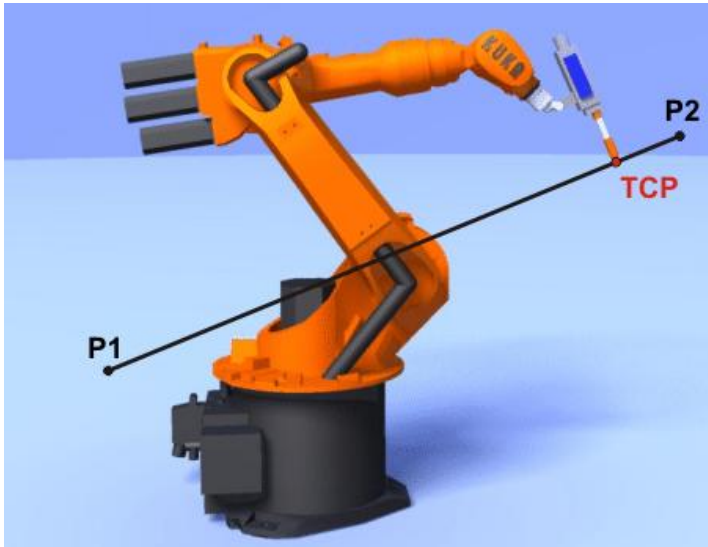


Fig. 4.15. Traiectorie LIN (Kuka, n.d.)

Pentru mișcări circulare (fig. 4.16) robotul ghidează TCP-ul din punctul actual cu o viteză definită printr-un punct auxiliar până la punctul specificat. Punctul auxiliar este necesar deoarece un arc este definit de 3 puncte.

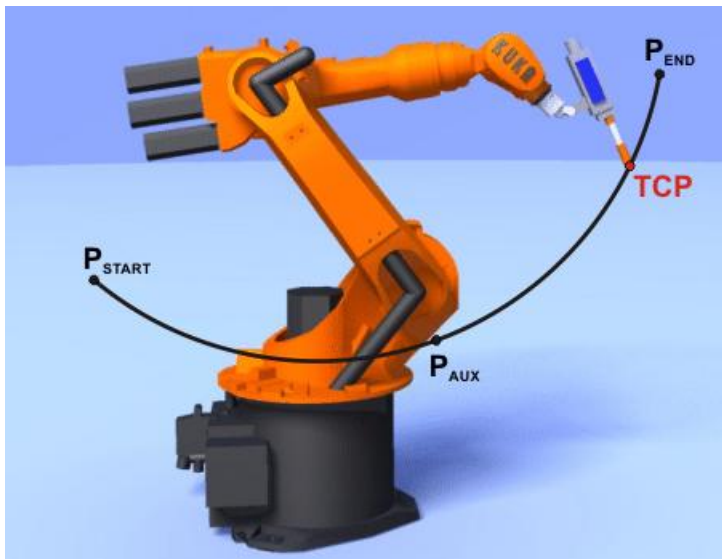


Fig. 4.16. Traiectorie CIRC (Kuka, n.d.)

În situația în care poziționarea precisă nu este necesară pentru anumite puncte ale traiectoriei, robotul poate să își modifice deplasarea în proximitatea acestora astfel încât să aibă un parcurs mai fluid și să nu încetinească. Poziționarea aproximativă înseamnă că mișcarea se poate abate de la punctul programat în anumite limite specificate de utilizator. În figura 4.17 se prezintă un exemplu al unei astfel de aproximări pentru o mișcare de tip PTP. Doar mișcarea către P2 este aproximată, nu și cea către P3.

TCP-ul părăsește calea care ar duce direct la punctul final P2 al primei instrucțiuni și se deplasează pe o cale mai rapidă. În timpul programării mișcării, distanța maximă de la punctul P2 la care TCP-ul se poate abate, este definită. Calea unei mișcări PTP aproximative nu poate fi prezisă. De asemenea, nu este posibil să se prezică pe ce parte a punctului aproximativ se va deplasa efectorul.

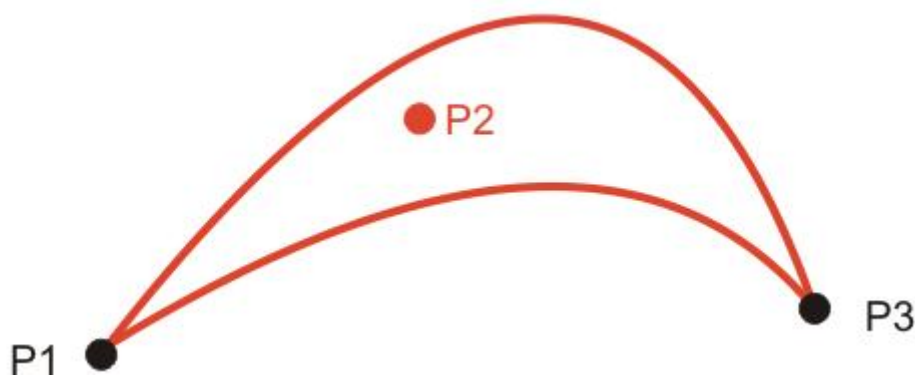


Fig. 4.17. Traiectorie PTP cu aproximare (Kuka, n.d.)

Figura 4.18 cuprinde două instrucțiuni de tip LIN:

- LIN P2 (cu aproximare);
- LIN P3 (fără aproximare).

Vârful sculei părăsește calea care ar duce direct la punctul final (P2) al primei instrucțiuni și se deplasează pe o cale mai rapidă.

În timpul programării mișcării, distanța maximă de la punctul P2 la care TCP se poate abate este definită. Traectoria în intervalul aproximativ de poziționare nu este un arc de cerc.

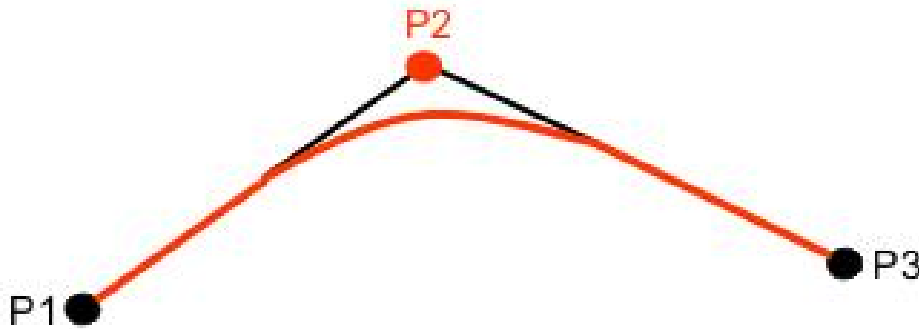


Fig. 4.18. Traiectorie LIN cu aproximare (Kuka, n.d.)

Figura 4.19 prezintă aproximarea unei mișcări circulare și cuprinde două instrucțiuni de mișcare:

- CIRC Paux, Pend (cu aproximare);
- LIN P (fără aproximare).

TCP-ul părăsește calea care ar duce direct la punctul final (Pend) al primei instrucțiuni și se deplasează pe o cale mai rapidă. În timpul programării mișcării, distanța maximă de la punctul Pend la care TCP se poate abate, este definită.

Mișcarea trece întotdeauna exact prin punctul auxiliar (Paux) al arcului de cerc. Traectoria în intervalul aproximativ de poziționare nu este un arc.

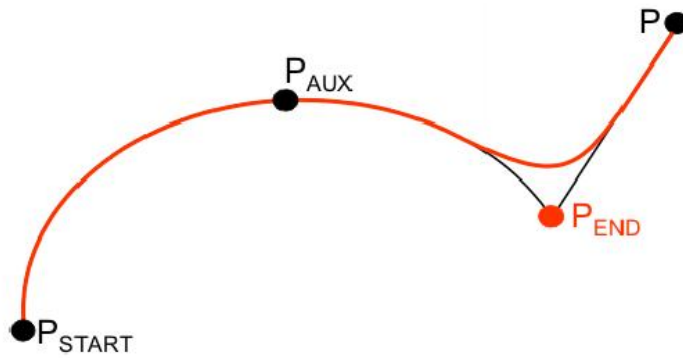


Fig. 4.19. Traiectorie CIRC cu aproximare (Kuka, n.d.)

4.4.2. Controlul orientării

Orientarea TCP poate să difere între punctul de început și punctul de final al unei mișcări. Există mai multe tipuri de tranziție de la orientarea de pornire până la orientarea finală, iar tipul acestuia trebuie selectat atunci când este programată o mișcare cu traiectorie continuă (LIN sau CIRC).

Pentru traiectoria LIN există următoarele tipuri de orientări:

- constantă (fig. 4.20);
- standard sau wrist PTP (fig. 4.21).

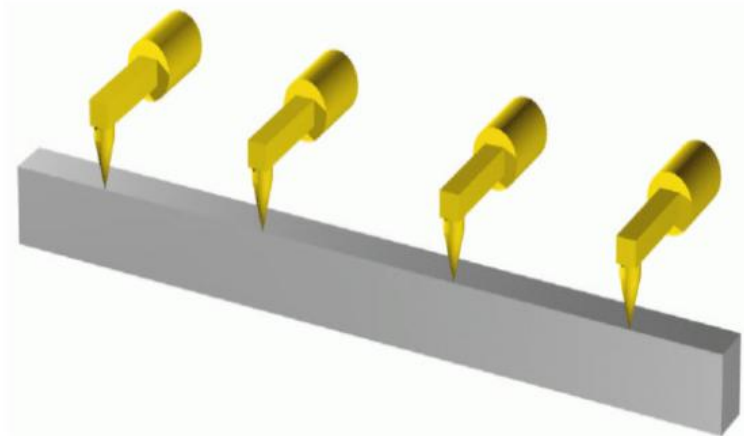


Fig. 4.20. Orientare constantă (Kuka, n.d.)

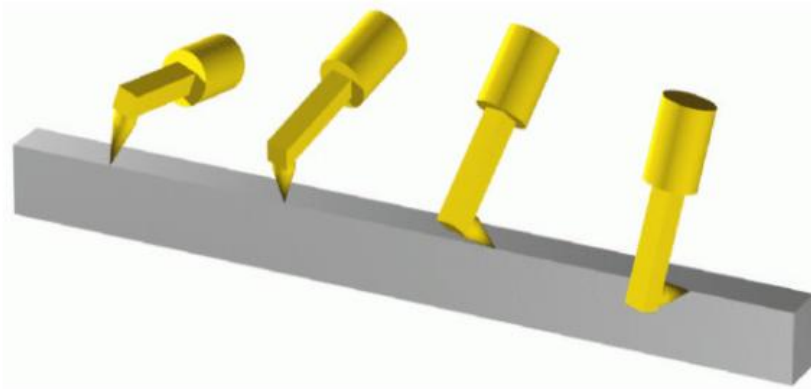
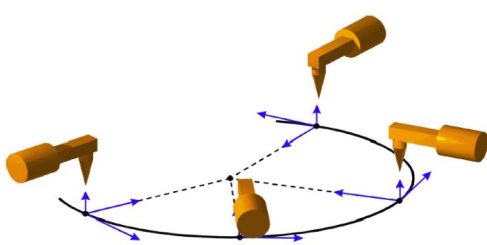
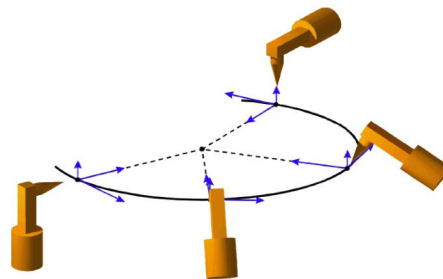


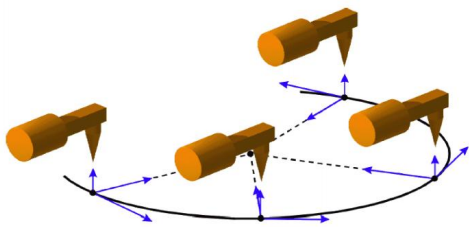
Fig. 4.21. Orientare standard sau wrist PTP (Kuka, n.d.)



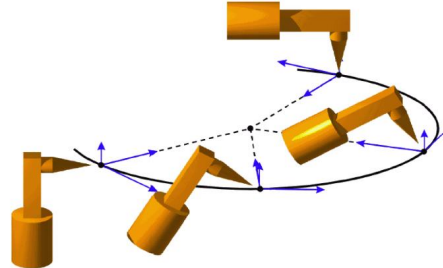
\$ORI_TYPE = #CONSTANT,
\$CIRC_TYPE = #PATH:



\$ORI_TYPE = #VAR,
\$CIRC_TYPE = #PATH:



\$ORI_TYPE = #CONSTANT,
\$CIRC_TYPE = #BASE:



\$ORI_TYPE = #VAR,
\$CIRC_TYPE = #BASE:

Fig. 4.22. Controlul orientării pentru mișcări „CIRC” (Kuka, n.d.)

În timpul mișcărilor CIRC, controlerul robotului ia în considerare doar orientarea punctului final, NU și a punctului auxiliar. Orientarea programată a punctului auxiliar este ignorată.

Aceleași opțiuni de control al orientării de la mișcărilor de tip LIN sunt disponibile și pentru mișcărilor CIRC.

De asemenea, este posibil să se definească pentru mișcărilor CIRC dacă controlul orientării este legat de bază sau legat de traiectorie. Aceasta opțiune se definește prin variabila de sistem \$CIRC_TYPE (fig. 4.22).

4.4.3. Controlul poziției brațului robotic

Valorile de poziție (X, Y, Z) și orientare (A, B, C) ale TCP nu sunt suficiente pentru a defini fără ambiguitate poziția robotului, ca unghiuri unice ale axelor de rotație ce alcătuiesc brațul robotic.

În cazul sistemelor de comandă Kuka variabilele Status și Turn au rolul, împreună cu valorile de poziție și de orientare, de a defini fără ambiguitate poziția axelor de rotație ale robotului.

Status (S) și Turn (T) sunt părți integrante ale tipurilor de date POS și E6POS. Controlerul robotului ia în considerare valorile pentru Status și Turn doar în cazul instrucțiunilor de tip PTP. Acestea sunt ignorate pentru mișcărilor CP.

Prin urmare, prima instrucțiune de mișcare dintr-un program KRL trebuie să definească fără ambiguitate o poziție și poate fi una dintre următoarele două:

- o instrucțiune PTP completă de tip POS sau E6POS;
- o instrucțiune PTP completă de tip AXIS sau E6AXIS.

“Complet” înseamnă că toate componentele punctului final trebuie specificate. Poziția implicită HOME este întotdeauna o instrucțiune PTP completă.

Status și Turn pot fi omise în instrucțiunile ulterioare, sistemul de comandă al robotului procedând în următorul mod:

- păstrează valoarea anterioară de stare;
- dacă se execută mișcări CP, valoarea variabilei TURN este determinată de traseul acestora. În cazul mișcărilor PTP, controlerul robotului selectează valoarea Turn care conduce la cea mai scurtă cale posibilă.

4.4.4. Structura unui program

Un program KRL (Kuka Robot Language) este format în general dintr-un fișier cu extensia SRC și un fișier adițional DAT, cu același nume. Fișierul SRC conține codul programului, iar fișierul DAT păstrează diferite valori (ex: coordonate de puncte). Fișierul DAT este numit și listă de date.

Cele două fișiere, SRC și DAT luate împreună, constituie un modul. În funcție de grupul de utilizatori, programele sunt afișate pe “teach pendant” ca module sau fișiere individuale:

- grupul de utilizatori „User”: programul este afișat ca modul; fișierele SRC și DAT există, însă ele nu sunt vizibile pentru utilizator și nu pot fi editate individual;
- grupul de utilizatori „Expert”: în mod implicit, fișierul SRC și fișierul DAT sunt afișate individual și fiecare poate fi editat.

4.4.5. Subprograme și funcții

Subprogramele sunt programe accesate prin intermediul ramurilor din programul principal. Odată ce subprogramul a fost executat, programul principal este reluat din linia imediat următoare apelului de subprogram.

Subprogramele locale se afla în același fișier SRC ca și programul principal. Ele pot fi recunoscute la nivel global folosind cuvântul cheie GLOBAL. Subprogramele globale sunt programe scrise într-un fișier SRC propriu, care este accesat dintr-un alt program prin intermediul unei ramuri.

Funcțiile, ca și subprogramele, sunt programe care sunt accesate prin intermediul unor ramuri din programul principal. Însă spre deosebire de primele, returnează întotdeauna o valoare programului principal.

4.4.6. Tipuri de semnale

Sistemul de comandă al robotului are și alte funcționalități pe lângă controlul mișcării brațului. Acesta poate primi și transmite semnale astfel încât să comunice cu alte dispozitive (PLC, controlerul altui robot etc.) sau să primească informații de la senzori și să comande actuatori.

Tipuri de semnale folosite de roboții KUKA sunt:

- digitale de intrare (IN);
- digitale de ieșire (OUT);
- analogice de intrare (ANIN);
- analogice de ieșire (ANOUT);
- puls (PULSE).

Pentru comunicarea cu diferite dispozitive, controlerul robotului folosește protocoale de comunicație industriale seriale, de tip FIELDBUS (ex: DeviceNET, bazat pe protocolul CANBus).

CAPITOLUL 5. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA AXELOR CINEMATICE ALE UNEI MAȘINI DE FREZAT CNC CU 3 AXE

Mașina Haas VF2-SS este o mașină de frezat CNC cu 3 axe liniare de avans și 1 arbore principal vertical, cu o construcție similară cu cea din figura 5.1. Specificațiile mașinii sunt prezentate în tabelul 5.1. Înainte de proiectarea fiecărei axe se face o predimensionare a organelor principale ale mașinii: șurubul cu bile și ghidajele liniare.

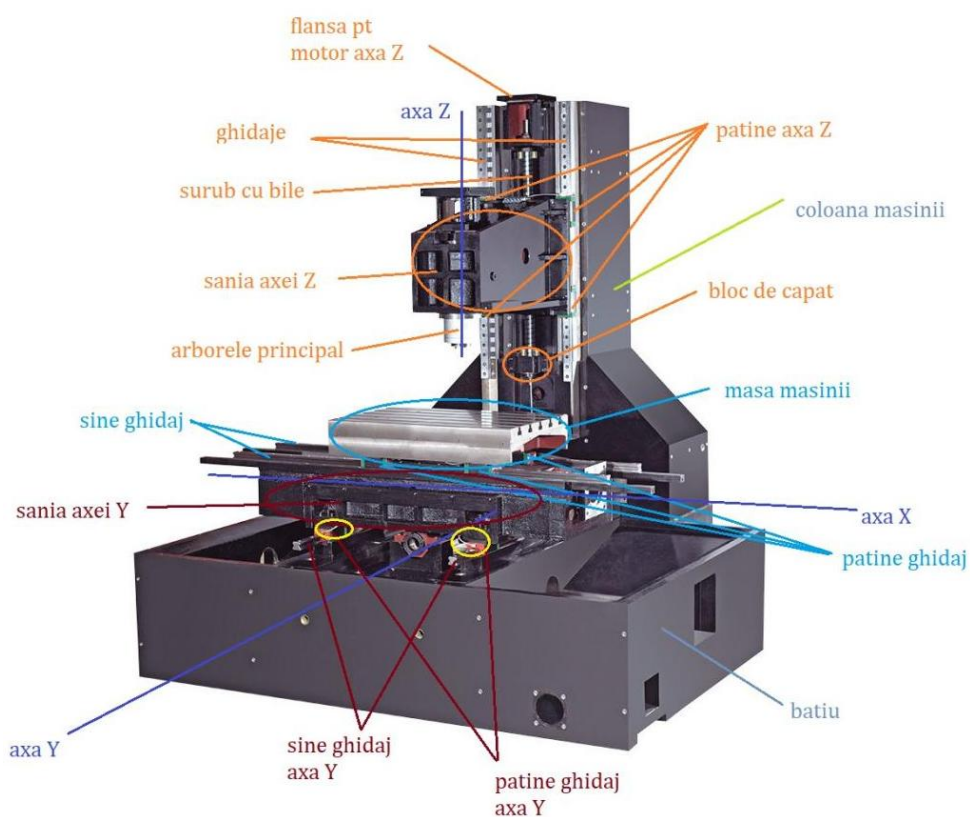


Fig. 5.1. Construcție similară cu a mașinii Haas VF2-SS (Google, n.d.)

Tabelul 5.1. Specificații Haas VF2-SS (Haas, n.d.)

Curse	
Axa X	762 mm
Axa Y	406 mm
Axa Z	508 mm
Distanța min. frontal arbore și masă	610 mm
Distanța max. frontal arbore și masă	102 mm
Viteze de avans	
Avans de lucru maxim	21.2 m/min
Avans rapid	35.6 m/min
Forțe acționare axe	
Forța maximă X	8874 N
Forța maximă Y	8874 N
Forța maximă Z	13723 N
Arbore principal	
Turație maximă	12000 min ⁻¹
Cuplu maxim	122 Nm la 2000 min ⁻¹
Con pentru portscule	CT sau BT 40

Componentele mașinii se aleg din gama de produse Bosch Rexroth folosind următoarele documentații:

- catalogul “Screw assemblies” pentru șuruburi cu bile și accesorii;
- catalogul “Ball rail systems” pentru ghidaje;
- catalogul “Synchronous servomotors MSK” pentru motoare electrice sincrone.

Proiectarea unei astfel de mașini poate fi abordată în următorul mod:

- se predimensionează fiecare axă cinematică: X, Y, Z și arborele principal;
- se realizează modelul 3D și se ajustează elementele calculate din punct de vedere constructiv acolo unde este cazul;
- se realizează ansamblul celor 4 axe și se ajustează unele cote dacă este necesar;
- se simulează mașina astfel obținută la sarcini statice, dar și la sarcini dinamice (vibrații) și din punct de vedere al stabilității termice;
- se ajustează componentele acolo unde este necesar și se reiau simulările până la atingerea unor valori satisfăcătoare.

În continuare se vor prezenta pentru mașina Haas VF2-SS:

- predimensionarea și modelul CAD al axei X;
- predimensionarea axei Y;
- predimensionarea axei Z;
- predimensionarea și modelul CAD al arborelui principal.

5.1. Predimensionarea axei X

Alegerea șurubului cu bile

Șurubul cu bile se alege în funcție de piulița utilizată. Pentru axa X se va alege o piuliță standard cu formatul FEM-E-B. în figura 5.2 este prezentată o captură din catalogul Bosch și piulița și șurubul alese. Ansamblul se alege astfel încât să fie capabil să reziste la o forță mai mare sau egală cu forța maximă a axei X și să poată genera o viteză liniară cel puțin egală cu viteza de avans rapid specificată de Haas.

Category	Size $d_0 \times P \times D_w - i$	Part number	Load ratings ³⁾		Linear speed ¹⁾ v_{max} (m/min)
			dyn. C (N)	stat. C ₀ (N)	
A	16 x 5R x 3 - 4	R1502 010 83	14,800	16,100	30
A	16 x 10R x 3 - 3	R1502 040 83	11,500	12,300	60
A	16 x 16R x 3 - 3	R1502 060 83	11,200	12,000	96
A	20 x 5R x 3 - 4	R1502 110 83	17,200	21,500	30
A	20 x 10R x 3 - 4	R1502 140 83	16,900	21,300	60
A	20 x 20R x 3.5 - 3	R1502 170 83	16,000	18,800	120
A	25 x 5R x 3 - 4	R1502 210 83	19,100	27,200	30
A	25 x 10R x 3 - 4	R1502 240 83	18,800	27,000	60

Fig. 5.2. Captură cu șurubul și piulița alese din catalogul Bosch

Se alege șurubul cu diametrul $d_0 = 16$ mm și pasul $P = 10$ mm. Acesta poate fi folosit pentru o viteză liniară de maxim 60 m/min, mult peste viteza de avans rapid de 35.6 m/min. Folosind ecuația 5.1 se determină turația maximă la care va funcționa șurubul cu bile fără sarcină, atunci când axa va efectua o mișcare de avans rapid.

$$n_{surub_rapid} = f_{rapid}/P \quad (5.1)$$

Cu ecuația 5.2 se calculează turația maximă a acestuia atunci când exista o sarcină dată de accelerarea saniei axei X sau atunci când acestea i se adaugă și forte din așchiere. Forța maximă pe care o va dezvolta șurubul în această situație este cea enunțată de Haas: 8874 N.

$$n_{surub_asc} = f_{asc}/P \quad (5.2)$$

Folosind ec. 5.3 (Bosch Rexroth, n.d.) se determină momentul maxim cu care va fi acționat șurubul.

$$M_{surub} = \frac{F_L \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad (5.3)$$

În tabelul 5.2 se prezintă rezultatele calculelor.

Tabelul 5.2. Rezultate șurub cu bile

Date de intrare	
F_max [N]	8874
f_asc [m/min]	21.2
f_rapid [m/min]	35.6
P [mm]	10
eta []	0.90
Date de ieșire	
f_asc [mm/min]	21200
f_rapid [mm/min]	35600
n_surub_asc [min ⁻¹]	2120
n_surub_rapid [min ⁻¹]	3560
M_surub [Nm]	15.7

Alegerea motorului

Acest rezultat, împreună cu turațiile determinate anterior se folosesc pentru alegerea motorului electric sincron de curent alternativ din catalogul Bosch Rexroth “Synchronous servomotors MSK”. Motorul se cuplează direct la șurubul cu bile prin intermediul unui cuplaj elicoidal sau cu discuri care are multiple avantaje:

- poate transmite cupluri mari;
- are rigiditate torsională mare;
- nu are joc la schimbarea direcției de rotație.

Se alege un motor cât mai apropiat de valorile calculate pentru a avea un cost scăzut și un gabarit redus: MSK060C-0300-NN. Acesta are următoarele caracteristici:

- un cuplu maxim de 24.0 Nm de la 0 la 2600 rot/min;
- turație maximă de 4900 rot/min.

În figura 5.3 se prezintă curba caracteristică a acestuia.

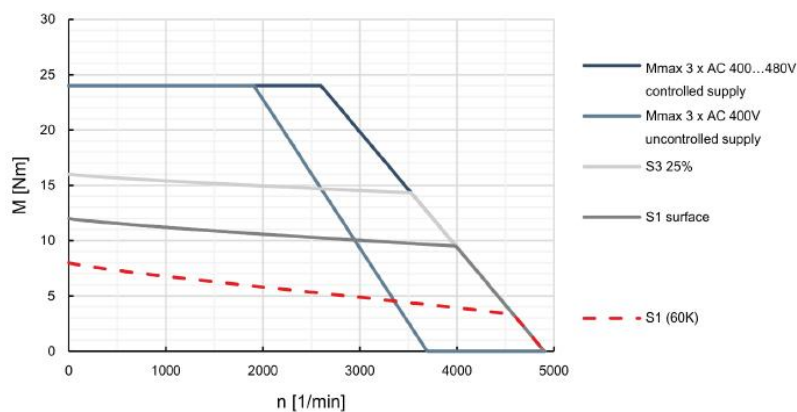


Fig. 5.3. Curba caracteristică a motorului sincron MSK060C-0300-NN

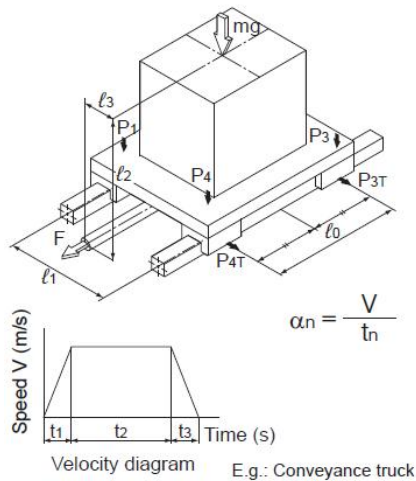
Pentru alegerea cuplajului se poate folosi site-ul producătorului japonez NBK, care realizează numeroase tipuri și dimensiuni. Acesta se va alege în funcție de cuplul maxim calculat anterior (15.7 Nm) și de dimensiunile axului motorului ($\varnothing 24$) și de capătul șurubului cu bile ($\varnothing 10$). În situația în care nu se găsește un cuplaj care să aibă ambele diametre căutate, se alege unul care să permită strunjirea diametrelor dorite.

Ghidaje liniare cu bile

Predimensionarea ghidajelor cu bile care sunt așezate orizontal se face conform ecuațiilor din figura 5.4 pentru o axă cinematică cu 2 șine și 4

patine așezate orizontal. Valorile pentru masă și distanțele 10, 12 și 13 se aproximează.

Horizontal mount with inertia



During acceleration

$$P_1 = P_4 = \frac{mg}{4} - \frac{m \cdot \alpha \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_2 = P_3 = \frac{mg}{4} + \frac{m \cdot \alpha \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{m \cdot \alpha \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = -\frac{m \cdot \alpha \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

During uniform motion

$$P_1 \text{ to } P_4 = \frac{mg}{4}$$

During deceleration

$$P_1 = P_4 = \frac{mg}{4} + \frac{m \cdot \alpha \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_2 = P_3 = \frac{mg}{4} - \frac{m \cdot \alpha \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = -\frac{m \cdot \alpha \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = \frac{m \cdot \alpha \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

Fig. 5.4. Model de calcul THK (n.d.)

Tabelul 5.3. Sarcini care acționează asupra ghidajelor

Date de intrare	
m [kg]	400.0
g [m/s ²]	9.81
vi [m/min]	0.0
vf [m/min]	21.2
d [mm]	3.0
10 [mm]	500.0
12 [mm]	250.0
13 [mm]	100.000

Date de ieșire	
vi [m/s]	0.000
vf [m/s]	0.353
d [m]	0.003
l0 [m]	0.500
l2 [m]	0.250
l3 [m]	0.100
a	20.807
Sarcini	
P1 = P4 [N]	-1099.74
P2 = P3 [N]	3061.741
P2T = P4T [N]	832.296
P1T = P3T [N]	-832.296
P1S [N]	1932.037
P2S [N]	3894.037
P3S [N]	3894.037
P4S [N]	1932.037
Pmax	3894.0
Durabilitate la sarcina nominala [km]	100
Durabilitate dorita L [km]	20000
Cmin	22772

Patinele se aleg din catalogul Bosch Rexroth din gama FNS (“flange, normal, standard height”). Conform durabilității dorite de 20000 de km la

sarcina Pmax de 3894 N s-a calculat o sarcină nominală minimă de 22772 N pentru o patină. Astfel se aleg patine de dimensiunea 20, iar șinele vor avea implicit aceeași mărime.

Size	Dimensions (mm)										Weight (kg)	Load capacities ³⁾ (N)		Load moments ³⁾ (Nm)			
	N ₁	N ₂	N ₆ ^{±0.5}	S ₁	S ₂	S ₅	S ₉	T	V ₁	m		C	C ₀	M _I	M _{I0}	M _L	M _{L0}
15	5.2	4.40	10.3	4.3	M5	4.5	M2.5x3.5	60	5.0	0.20	9 860	12 700	95	120	68	87	
20	7.7	5.20	13.2	5.3	M6	6.0	M3x5	60	6.0	0.45	23 400	29 800	300	380	200	260	
25	9.3	7.00	15.2	6.7	M8	7.0	M3x5	60	7.5	0.65	28 600	35 900	410	510	290	360	
30	11.0	7.90	17.0	8.5	M10	9.0	M3x5	80	7.0	1.10	36 500	48 100	630	830	440	580	
35	12.0	10.15	20.5	8.5	M10	9.0	M3x5	80	8.0	1.60	51 800	80 900	1 110	1 740	720	1 130	
45	15.0	12.40	23.5	10.4	M12	14.0	M4x7	105	10.0	3.00	86 400	132 000	2 330	3 560	1 540	2 350	

Fig. 5.5. Captură de ecran din catalogul “Ball rail systems”, patine FNS

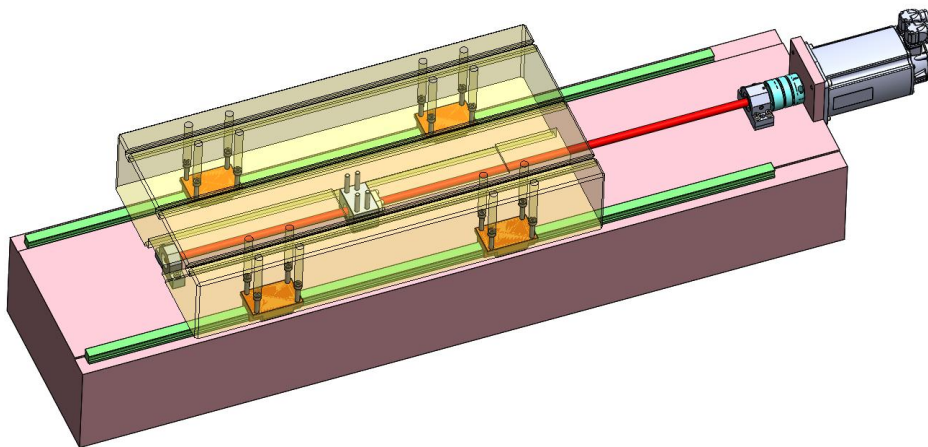


Fig. 5.6. Vedere din perspectivă a axei X

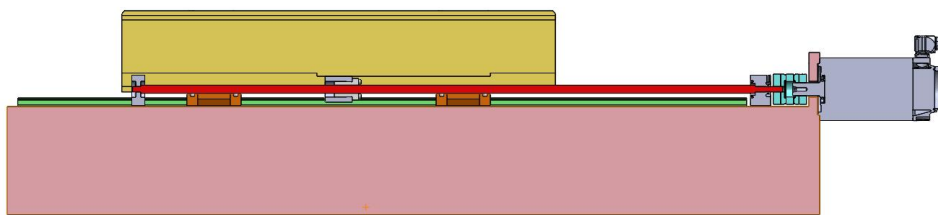


Fig. 5.7. Vedere în secțiune a axei X

5.2. Predimensionarea axei Y

Alegerea șurubului cu bile

Șurubul cu bile se alege în funcție de piulița utilizată. Pentru axa Y se va alege o piuliță standard cu formatul FEM-E-B. în figura 5.8 este prezentată o captură din catalogul Bosch și piulița și șurubul alese. Ansamblul se alege astfel încât să fie capabil să reziste la o forță mai mare sau egală cu forța maximă axei Y și să poată genera o viteză liniară cel puțin egală cu viteza de avans rapid afișată de Haas.

Category	Size $d_0 \times P \times D_w - i$	Part number	Load ratings ³⁾		Linear speed ¹⁾ v_{max} (m/min)
			dyn. C (N)	stat. C ₀ (N)	
A	16 x 5R x 3 - 4	R1502 010 63	14,800	16,100	30
A	16 x 10R x 3 - 3	R1502 040 83	11,500	12,300	60
A	16 x 16R x 3 - 3	R1502 060 63	11,200	12,000	96
A	20 x 5R x 3 - 4	R1502 110 83	17,200	21,500	30
A	20 x 10R x 3 - 4	R1502 140 63	16,900	21,300	60
A	20 x 20R x 3.5 - 3	R1502 170 63	16,000	18,800	120
A	25 x 5R x 3 - 4	R1502 210 83	19,100	27,200	30
A	25 x 10R x 3 - 4	R1502 240 83	18,800	27,000	60

Fig. 5.8. Captură cu șurubul și piulița alese din catalogul Bosch

Se alege șurubul cu diametrul $d_0 = 16$ mm și pasul $P = 10$ mm. Folosind ecuația 5.1 se determină turația maximă la care va funcționa șurubul cu bile fără sarcină, atunci când axa va efectua o mișcare de avans rapid.

Cu ecuația 5.2 se calculează turația maximă a acestuia atunci când exista o sarcină dată de accelerarea saniei axei Y sau atunci când acesteia i se adaugă și forte din așchiere. Forța maximă pe care o va dezvolta șurubul în aceasta situație este cea enunțată de Haas: 8874 N.

Folosind ecuația 5.3 (Bosch Rexroth, n.d.) se determină momentul maxim cu care va fi acționat șurubul.

În tabelul 5.4 se prezintă rezultatele calculelor.

Tabelul 5.4. Rezultate șurub cu bile

Date de intrare	
F_max [N]	8874
f_asc [m/min]	21.2
f_rapid [m/min]	35.6
P [mm]	10
eta []	0.90
Date de ieșire	
f_asc [mm/min]	21200
f_rapid [mm/min]	35600
n_surub_asc [min ⁻¹]	2120
n_surub_rapid [min ⁻¹]	3560
M_surub [Nm]	15.7

Alegerea motorului

Acest rezultat, împreună cu turațiile determinate anterior se folosesc pentru alegerea motorului electric sincron de curent alternativ din catalogul Bosch Rexroth “Synchronous servomotors MSK”. Motorul se cuplează direct la șurubul cu bile prin intermediul unui cuplaj cu discuri care are multiple avantaje:

- poate transmite cupluri mari;
- are rigiditate torsională mare;
- nu are joc la schimbarea direcției de rotație.

Se alege un motor cat mai apropiat de valorile calculate pentru a avea un cost scăzut și un gabarit redus: MSK060C-0300-NN. Acesta are următoarele caracteristici:

- un cuplu maxim de 24.0 Nm de la 0 la 2600 rot/min;

- turație maximă de 4900 rot/min.

În figura 5.3 se prezintă curba caracteristică a acestuia.

Pentru alegerea cuplajului se poate folosi site-ul producătorului japonez NBK, care realizează numeroase tipuri și dimensiuni. Acesta se va alege în funcție de cuplul maxim calculat anterior (15.7 Nm) și de dimensiunile axului motorului ($\varnothing 24$) și de capătul șurubului cu bile ($\varnothing 10$). În situația în care nu se găsește un cuplaj cu care să aibă ambele diametre căutate, se alege unul care să permită strunjirea diametrelor dorite.

Ghidaje liniare cu bile

Predimensionarea ghidajelor cu bile care sunt așezate orizontal se face conform ecuațiilor din figura 5.4 pentru o axă cinematică cu 2 șine și 4 patine așezate orizontal. Valorile pentru masă și distanțele 10, 12 și 13 se aproximează.

Tabelul 5.5. Sarcini care acționează asupra ghidajelor

Date de intrare	
m [kg]	400.0
g [m/s ²]	9.81
vi [m/min]	0.0
vf [m/min]	21.2
d [mm]	3.0
10 [mm]	500.0
12 [mm]	250.0
13 [mm]	100.000
Date de ieșire	
vi [m/s]	0.000

vf [m/s]	0.353
d [m]	0.003
l0 [m]	0.500
l2 [m]	0.250
l3 [m]	0.100
a	20.807
Sarcini	
P1 = P4 [N]	-1099.74
P2 = P3 [N]	3061.741
P2T = P4T [N]	832.296
P1T = P3T [N]	-832.296
P1S [N]	1932.037
P2S [N]	3894.037
P3S [N]	3894.037
P4S [N]	1932.037
Pmax	3894.0
Durabilitate la sarcina nominală [km]	100
Durabilitate dorită L [km]	20000
Cmin	22772

Patinele se aleg din catalogul Bosch Rexroth din gama FNS (“flange, normal, standard height”). Conform durabilității dorite de 20000 de km la sarcina Pmax de 3894 N s-a calculat o sarcina nominală minimă de 22772 N

pentru o patină. Astfel se aleg patine de dimensiune 20, și implicit șinele vor avea aceeași dimensiune.

Size	Dimensions (mm)										Weight (kg)	Load capacities ³⁾ (N)		Load moments ³⁾ (Nm)			
	N ₁	N ₂	N ₆ ^{±0.5}	S ₁	S ₂	S ₅	S ₉	T	V ₁	m		C	C ₀	M _t	M _{t0}	M _t	M _{t0}
15	5.2	4.40	10.3	4.3	M5	4.5	M2.5x3.5	60	5.0	0.20	9 860	12 700	95	120	68	87	
20	7.7	5.20	13.2	5.3	M6	6.0	M3x5	60	6.0	0.45	23 400	29 800	300	380	200	260	
25	9.3	7.00	15.2	6.7	M8	7.0	M3x5	60	7.5	0.65	28 600	35 900	410	510	290	360	
30	11.0	7.90	17.0	8.5	M10	9.0	M3x5	80	7.0	1.10	36 500	48 100	630	830	440	580	
35	12.0	10.15	20.5	8.5	M10	9.0	M3x5	80	8.0	1.60	51 800	80 900	1 110	1 740	720	1 130	
45	15.0	12.40	23.5	10.4	M12	14.0	M4x7	105	10.0	3.00	86 400	132 000	2 330	3 560	1 540	2 350	

Fig. 5.9. Captură de ecran din catalogul “Ball rail systems”, patine FNS

5.3. Predimensionarea axei Z

Alegerea șurubului cu bile

Șurubul cu bile se alege în funcție de piulița utilizată. Pentru axa Z se va alege o piuliță standard cu formatul FEM-E-B. În figura 5.10 este prezentată o captură din catalogul Bosch cu piulița și șurubul alese. Ansamblul se alege astfel încât să fie capabil să reziste la o forță mai mare sau egală cu forța maximă a axei Z și să poată genera o viteză liniară cel puțin egală cu viteza de avans rapid afișată de Haas.

Category	Size	Part number	Load ratings ³⁾		Linear speed ¹⁾
			dyn. C (N)	stat. C ₀ (N)	
A	16 x 5R x 3 - 4	R1502 010 63	14,800	16,100	30
A	16 x 10R x 3 - 3	R1502 040 83	11,500	12,300	60
A	16 x 16R x 3 - 3	R1502 060 63	11,200	12,000	96
A	20 x 5R x 3 - 4	R1502 110 83	17,200	21,500	30
A	20 x 10R x 3 - 4	R1502 140 63	16,900	21,300	60
A	20 x 20R x 3.5 - 3	R1502 170 63	16,000	18,800	120
A	25 x 5R x 3 - 4	R1502 210 83	19,100	27,200	30
A	25 x 10R x 3 - 4	R1502 240 83	18,800	27,000	60

Fig. 5.10. Captură cu șurubul și piulița alese din catalogul Bosch

Se alege șurubul cu diametrul $d_0 = 20$ mm și pasul $P = 10$ mm. Folosind ecuația 5.1 se determină turația maximă la care va funcționa șurubul cu bile fără sarcină, atunci când axa va efectua o mișcare de avans rapid.

Cu ecuația 5.2 se calculează turația maximă a acestuia atunci când există o sarcină dată de accelerarea saniei axei Z sau atunci când acestea i se adaugă și forte din așchiere. Forța maximă pe care o va dezvolta șurubul în aceasta situație este cea enunțată de Haas: 13723 N.

Folosind ecuația 5.3 (Bosch Rexroth, n.d.) se determină momentul maxim cu care va fi acționat șurubul.

În tabelul 5.6 se prezintă rezultatele calculelor.

Tabelul 5.6. Rezultate șurub cu bile

Date de intrare	
F_max [N]	13723
f_asc [m/min]	21.2
f_rapid [m/min]	35.6
P [mm]	10
eta []	0.90
Date de ieșire	
f_asc [mm/min]	21200
f_rapid [mm/min]	35600
n_surub_asc [min ⁻¹]	2120
n_surub_rapid [min ⁻¹]	3560
M_surub [Nm]	24.3

Alegerea motorului

Acest rezultat, împreună cu turațiile determinate anterior se folosesc pentru alegerea motorului electric sincron de curent alternativ din catalogul Bosch Rexroth “Synchronous servomotors MSK”. Motorul se cuplează direct la șurubul cu bile prin intermediul unui cuplaj cu discuri care are multiple avantaje:

- poate transmite cupluri mari;
- are rigiditate torsională mare;
- nu are joc la schimbarea direcției de rotație.

Se alege un motor cat mai apropiat de valorile calculate pentru a avea un cost scăzut și un gabarit redus: MSK061C-0300. Acesta are următoarele caracteristici:

- un cuplu maxim de 32.0 Nm de la 0 la 3100 rot/min;
- turație maximă de 4200 rot/min.

În figura 5.11 se prezintă curba caracteristică a acestuia.

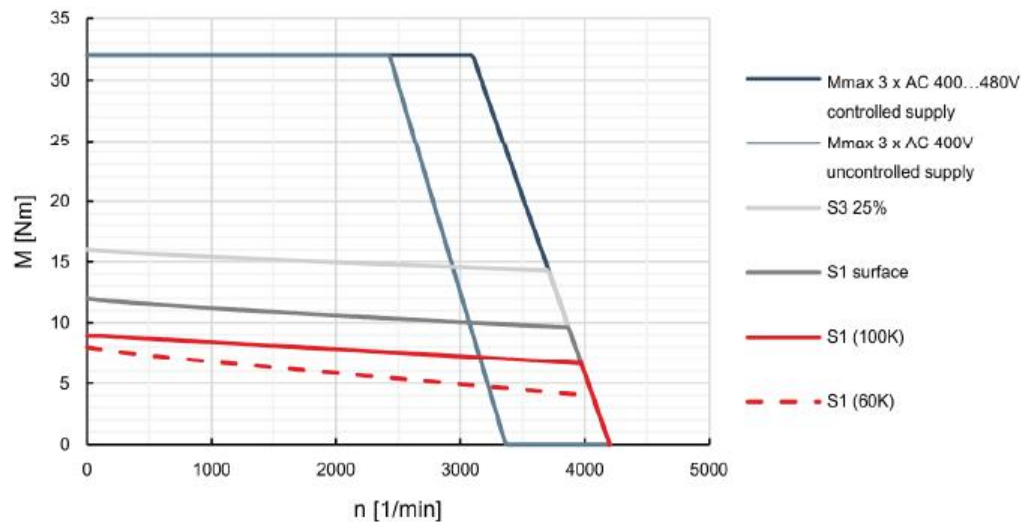


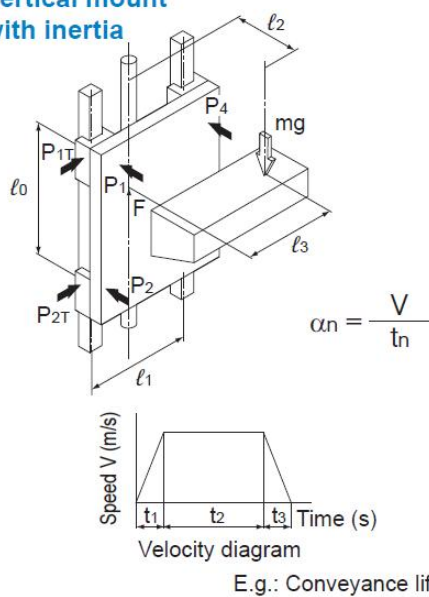
Fig. 5.11. Curba caracteristică a motorului sincron MSK061C-0300

Pentru alegerea cuplajului se poate folosi site-ul producătorului japonez NBK, care realizează numeroase tipuri și dimensiuni. Acesta se va alege în funcție de cuplul maxim calculat anterior (15.7 Nm) și de dimensiunile axului motorului ($\varnothing 19$) și de capătul șurubului cu bile ($\varnothing 12$). În situația în care nu se găsește un cuplaj care să aibă ambele diametre căutate, se alege unul care să permită strunjirea acestora.

Ghidaje liniare cu bile

Predimensionarea ghidajelor cu bile care sunt așezate vertical se face conform ecuațiilor din figura 5.12 pentru o axă cinematică cu 2 șine și 4 patine. Valorile pentru masa și distanțele l_0 , l_2 și l_3 se aproximează.

Vertical mount with inertia



During acceleration

$$P_1 = P_4 = - \frac{m(g + \alpha_1) l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_2 = P_3 = \frac{m(g + \alpha_1) l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{m(g + \alpha_1) l_3}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = - \frac{m(g + \alpha_1) l_3}{2 \cdot l_0}$$

During uniform motion

$$P_1 = P_4 = - \frac{mg \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_2 = P_3 = \frac{mg \cdot l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{mg \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = - \frac{mg \cdot l_3}{2 \cdot l_0}$$

During deceleration

$$P_1 = P_4 = - \frac{m(g - \alpha_3) l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_2 = P_3 = \frac{m(g - \alpha_3) l_2}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{1T} = P_{4T} = \frac{m(g - \alpha_3) l_3}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{2T} = P_{3T} = - \frac{m(g - \alpha_3) l_3}{2 \cdot l_0}$$

Fig. 5.12. Model de calcul THK (n.d.)

Tabelul 5.7. Sarcini care acționează asupra ghidajelor

Date de intrare	
m [kg]	500.0
g [m/s ²]	9.81
v _i [m/min]	0.0
v _f [m/min]	21.2
d [mm]	3.0
l ₀ [mm]	500.0
l ₂ [mm]	250.0
l ₃ [mm]	100.0
Date de ieșire	
v _i [m/s]	0.000
v _f [m/s]	0.353
d [m]	0.003
l ₀ [m]	0.500
l ₂ [m]	0.250
l ₃ [m]	0.100
a [m/s ²]	20.8
Sarcini	
P ₁ = P ₄ [N]	-3827.2
P ₂ = P ₃ [N]	3827.2
P _{2T} = P _{4T} [N]	-1530.9
P _{1T} = P _{3T} [N]	1530.9
P _{1S} [N]	5358.0
P _{2S} [N]	5358.0
P _{3S} [N]	5358.0

P4S [N]	5358.0
Pmax	5358.0
Durabilitate la sarcina nominală [km]	100
Durabilitate dorită L [km]	20000
Cmin	31334

Patinele se aleg din catalogul Bosch Rexroth din gama FNS (“flange, normal, standard height”). Conform durabilității dorite de 20000 de km la sarcina Pmax de 3894 N s-a calculat o sarcină nominală minimă de 31334 N pentru o patină. Astfel se aleg patine de dimensiune 30, și implicit șinele vor avea aceeași dimensiune.

Size	Dimensions (mm)										Weight (kg)	Load capacities ³⁾ (N)		Load moments ³⁾ (Nm)			
	N ₁	N ₂	N ₆ ^{20.5}	S ₁	S ₂	S ₃	S ₉	T	V ₁	m		C	C ₀	M _L	M _{L0}	M _L	M _{L0}
15	5.2	4.40	10.3	4.3	M5	4.5	M2.5x3.5	60	5.0	0.20	9 860	12 700	95	120	68	87	
20	7.7	5.20	13.2	5.3	M6	6.0	M3x5	60	6.0	0.45	23 400	29 800	300	380	200	260	
25	9.3	7.00	15.2	6.7	M8	7.0	M3x5	60	7.5	0.65	28 600	35 900	410	510	290	360	
30	11.0	7.90	17.0	8.5	M10	9.0	M3x5	80	7.0	1.10	36 500	48 100	630	830	440	580	
35	12.0	10.15	20.5	8.5	M10	9.0	M3x5	80	8.0	1.60	51 800	80 900	1 110	1 740	720	1 130	
45	15.0	12.40	23.5	10.4	M12	14.0	M4x7	105	10.0	3.00	86 400	132 000	2 330	3 560	1 540	2 350	

Fig. 5.13. Captură de ecran din catalogul “Ball rail systems”, patine FNS

5.4. Predimensionarea arborelui principal

Caracteristicile arborelui principal al mașinii Haas VF2-SS sunt prezentate în tabelul 5.1. În varianta vândută de Haas motorul este integrat în jurul arborelui, însă din rațiuni de simplificare se vor alege un motor electric sincron și o transmisie prin curea sincronă.

Relația dintre cupluri, numere de dinți și turații pentru motorul electric și arborele principal sunt date de ecuația:

$$M_{motor}/M_{arbore} = z_{motor}/z_{arbore} = n_{arbore}/n_{motor} \quad (5.4)$$

Cel mai ușor mod de a alege un motor ar fi să se calculeze puterea necesară pentru antrenarea arborelui principal folosind ecuația 5.5:

$$P = M \cdot \omega \quad (5.5)$$

Însă curbele caracteristice din catalogul Bosch Rexroth sunt grafice ale momentului în funcție de turație. Din acest motiv s-a elaborat o foaie Excel pentru trecerea de la cuplul maxim al arborelui la cuplul maxim al motorului în funcție de turațiile lor maxime folosind ecuația 5.4.

Tabelul 5.8. Foaie de calcul pentru identificarea motorului electric

n_arb_max	M_arb_max	n_m_max	M_m_max
12000	122	9000	162.7
		8000	183.0
		7500	195.2
		7000	209.1
		6000	244.0
		5000	292.8
		4500	325.3
		4200	348.6
		4000	366.0
		3300	443.6
		3000	488.0
		2000	732.0
		1000	1464.0

Cel mai mic motor din catalogul MSK, care poate să antreneze arborele astfel încât acesta să dezvolte 122 Nm la 2000 rot/min și să îl ducă la o turație maximă de 12000 rot/min este MSK131D-0200-NN, cu următoarele caracteristici:

- cuplu maxim de 495 Nm de la 0 la 1600 min⁻¹;
- turație maximă de 3000 min⁻¹.

Curba caracteristică a motorului este redată în figura 5.14.

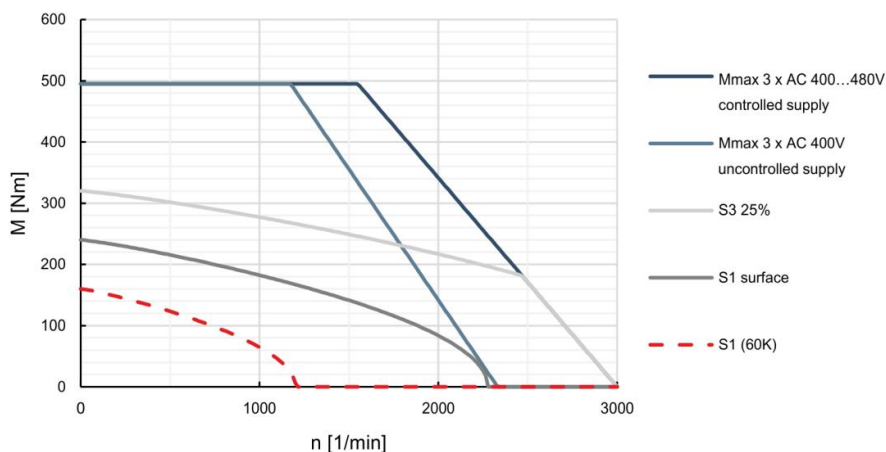


Fig. 5.14. Curba caracteristică a motorului MSK131D-0200-NN

Dimensionarea transmisiei prin curea sincronă

Dimensionarea transmisiei cu curea sincronă se face folosind catalogul Contitech Synchronbelt și include un număr de pași.

Pentru pasul 1 se calculează factorul total de serviciu (c_0) ca sumă a factorului de încărcare (c_2), a factorului de accelerare (c_3) și a factorului de oboseală (c_4):

$$c_0 = c_2 + c_3 + c_4 \quad (5.6)$$

Din catalog se alege c_2 ca 1.5, se calculează raportul de transmisie i ca 0.25 folosind ecuația 5.7 și se alege c_3 ca 0.4 și c_4 de asemenea 0.4. Factorul c_0 are valoarea 2.3, însemnând ca se va alege o transmisie prin curea de 2.3 ori mai puternică decât valoarea nominală cerută de aplicație din considerente de durabilitate.

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{arbore}} \quad (5.7)$$

Pentru pasul 2 se calculează $P_{max} \cdot c_0$ și se alege pasul curelei din figura 7 a catalogului. Puterea maximă a arborelui este de 58.8 kW și se obține la aceeași turație cu cuplul maxim, adică 2000 min⁻¹. Pasul curelei alese este XH.

La pasul 3 se determină numărul minim de dinți al roților de curea din tabelul 27 al catalogului, în acest exemplu fiind 24.

La pasul 4 se determină numerele de dinți ale roților de curea. Se folosește următoarea ecuație derivată din ec. 5.4:

$$i = n_{motor}/n_{arbore} = z_{arbore}/z_{motor} \quad (5.8)$$

Se cunoaște că raportul de transfer i are valoarea 0.25, de aici rezultând că roata cea mai mică este z_{arbore} . Astfel aceasta are 24 de dinți conform rezultatului de la pasul 3, iar z_{motor} are 96 dinți conform ecuației 5.8.

La pasul 5 se calculează limitele pentru distanța axială și se alege constructiv o distanță axială între acestea. Se folosește ecuația 5.9:

$$0.2 \cdot t \cdot (z_g + z_k) \leq a \leq 0.7 \cdot t \cdot (z_g + z_k) \quad (5.9)$$

unde t = pasul curelei (22.225 mm pentru XH)

z_g = numărul mai mare de dinți dintre cele 2 roți ($z_{\text{motor}} = 96$ în acest caz)

z_k = numărul mai mic de dinți dintre cele 2 roți ($z_{\text{arbore}} = 24$ în acest caz)

Conform calculului distanța axială ar trebui aleasă între 533.4 mm și 1866.9 mm. Se alege constructiv 600 mm.

Pentru pasul 6 se calculează lungimea aproximativă a curelei cu următoarea ecuație:

$$L_w \cong 2 \cdot a + \frac{t}{2} \cdot (z_g + z_k) + \frac{\left[\frac{t}{\pi} \cdot (z_g - z_k) \right]^2}{4 \cdot a} \quad (5.10)$$

Lungimea aproximativă a curelei este de 2241.7 mm.

Pentru pasul 7 se alege o lungime standard a curelei, în acest caz cea mai apropiată fiind 2489.20 care corespunde la 112 dinți.

La pasul 8 se recalculează distanța axială pentru lungimea aleasă a curelei L_w cu ecuația 5.11:

$$a \cong \frac{1}{4} \cdot \left[L_w - \frac{t}{2} \cdot (z_g + z_k) + \sqrt{\left[L_w - \frac{t}{2} \cdot (z_g + z_k) \right]^2 - 2 \cdot \left[\frac{t}{\pi} \cdot (z_g - z_k) \right]^2} \right] \quad (5.11)$$

Rezultatul pentru noua distanță axială este 514.78 mm.

La pasul 9 se calculează arcul de contact β cu ecuația 5.12.

$$\beta = 2 \cdot \cos^{-1} \left[\frac{t \cdot (z_g - z_k)}{2 \cdot \pi \cdot a} \right] \quad (5.12)$$

Rezultatul pentru β este 120.66°.

Pentru pasul 10 se calculează factorul c_1 , adică numărul de dinți de pe roata mică de curea aflați în angrenare cu cureaua:

$$z_e = z_k \cdot \frac{\beta}{360} \quad (5.13)$$

La pasul 11 se alege valoarea 1.0 pentru c_1 din tabelul 23, care corespunde numărului de dinți aflați în angrenare $z_e = 8.0$.

La pasul 12 se alege din figurile 6 și 7 (pag. 34 - 35 din catalogul Conti Synchrobelt) valoarea P_N , adică puterea nominală pe care o poate duce fiecare inch de lățime de curea, adică $P_N = 13.26$ kW.

Pentru pasul 13 se calculează c_{5err} , adică numărul minim de inch de lățime ai curelei și implicit lățimea minimă necesară a curelei.

$$c_{5err} = P_{max} \cdot c_0 / (P_N \cdot c_1) \quad (5.14)$$

Valoarea lui c_{5err} este 4.43 inch, iar lățimea curelei în mm se obține înmulțind cu 25.4, adică $b = 112.5$ mm.

La pasul 14 se alege lățimea standard a curelei, în acest caz $b = 127$ mm.

Pentru pasul 15 se caută în tabelele 14-18 diametrul exterior d_a al roților de curea. Acestea sunt:

- diametrul exterior $Z_{arbore} = 24$ dinți: $d_{a_arbore} = 166.99$ mm;
- diametrul exterior $Z_{motor} = 96$ dinți: $d_{a_motor} = 676.35$ mm.

Rezultatul dimensionării transmisiei cu curea este:

- pas curea XH;
- lungimea curelei $L_w = 2489.20$;
- nr de dinți curea $z=112$;
- lățimea curelei $b = 127$ mm;
- $Z_{motor} = 96$ dinți;
- $Z_{arbore} = 24$ dinți;
- distanta axială între roțile de curea: $a = 514.78$ mm;
- diametrul exterior $Z_{arbore} = 24$ dinți: $d_{a_arbore} = 166.99$ mm;
- diametrul exterior $Z_{motor} = 96$ dinți: $d_{a_motor} = 676.35$ mm;

În figura 5.15 se prezintă un model de lăgăruire SKF pentru arbori principali, iar în 5.16 modelul CAD al arborelui principal cu cotele sale de gabarit.

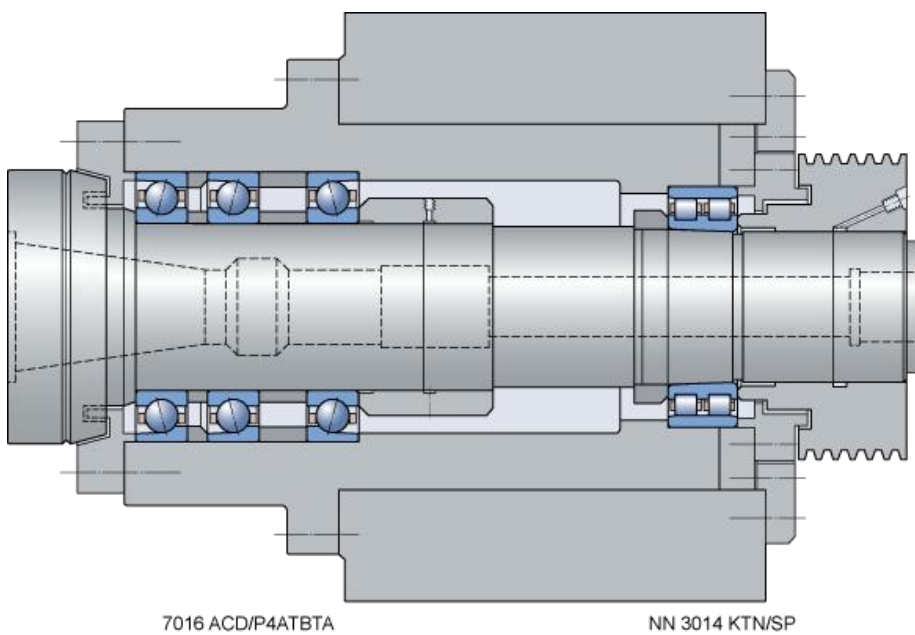


Fig. 5.15. Model de lăgăruire pentru arbori principali (SKF, n.d.)

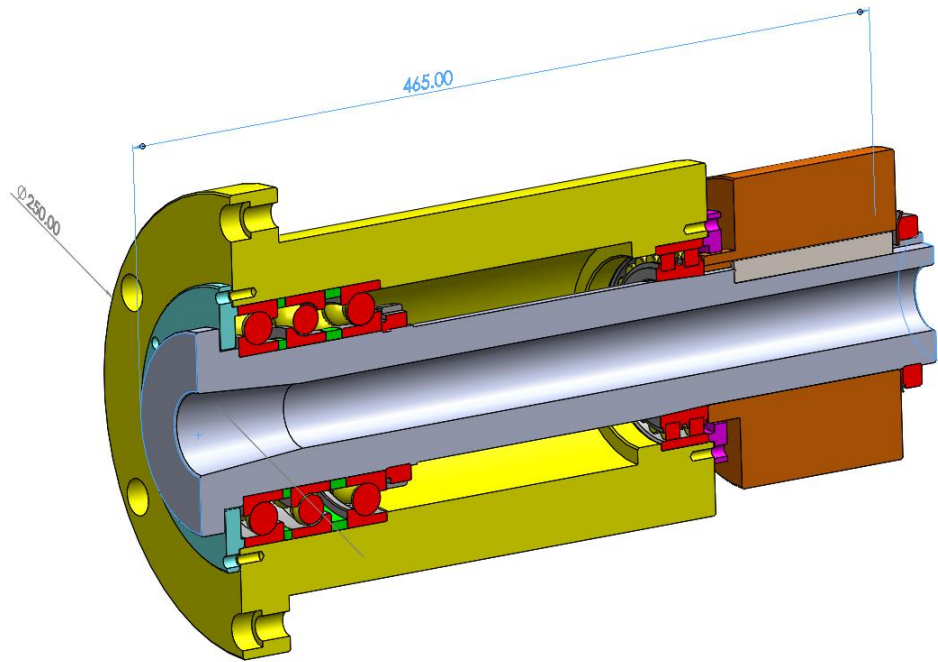


Fig. 5.16. Secțiune prin modelul CAD al arborelui principal proiectat

CAPITOLUL 6. STUDIU DE CAZ: SUPORT PENTRU REGLAREA PORTSCULELOR DE TIP BT40

Portsculele sunt o componentă importantă a mașinilor de frezat, ele reprezentând interfața dintre arborele principal al mașinii și scula așchietoare. Există mai multe tipuri de interfețe de portscule printre care:

- BT;
- SK;
- HSK;
- CAT.

Mașina de frezat Microcut Challenger din laboratorul E07 al Universității Tehnice din Cluj-Napoca utilizează portscule de tip BT40 (fig. 6.1 și 6.2), 40 reprezentând dimensiunea. Strângerea și destrângerea sculelor de frezat din portsculă se poate face și în arborele mașinii, dar acest lucru este contraindicat datorită riscului crescut de avariere a rulmenților sau a altor componente. Din acest motiv, s-a decis proiectarea și executarea unui suport montat pe perete care să permită blocarea portsculei pentru fixarea frezei sau înlocuirea tiretei.



Fig. 6.1. Portsculă BT40 (Xiamen Strongtech, n.d.)

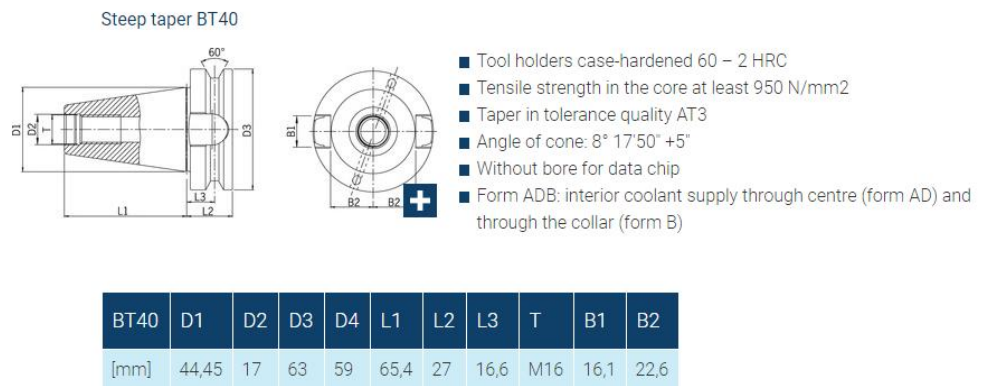


Fig. 6.2. Dimensiunile unei portscule de tip BT40 (Haimer, n.d.)

Proiectul a început prin definirea cotelor funcționale. Este necesar ca suportul să susțină portscula și să îi blocheze mișcarea de rotație în jurul axei. Blocarea rotației se poate realiza prin două pene care intră în locașul cotelat B1 și în cel simetric lui din figura 6.2. Mai este nevoie de o gaură prin care să treacă conul portsculei și un umăr care să îi rețină bordura. Astfel s-a proiectat prima varianta de suport (fig. 6.3), care este realizată dintr-o bară pătrată debitată, un inel strunjit și două pene. Piesele principale sunt asamblate prin sudură, iar penele sunt prinse cu șuruburi.

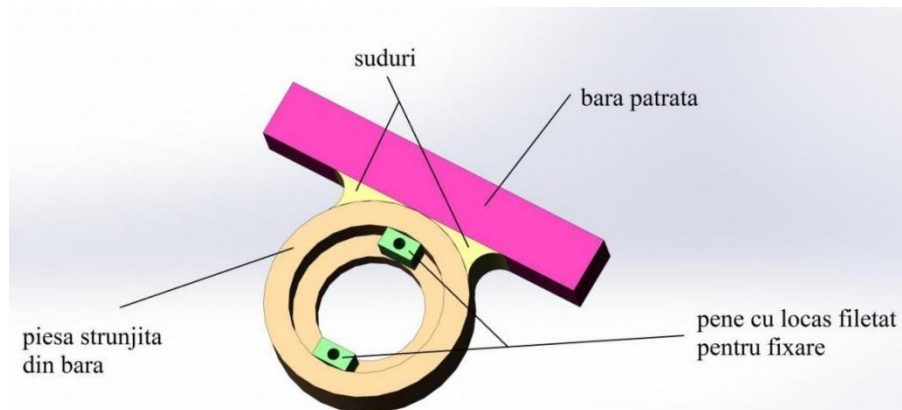


Fig. 6.3. Varianta constructivă 1 - piese îmbinate prin sudură sau șuruburi

Pentru simplificarea proiectului s-a ales ca penele să fie frezate din același semifabricat ca suportul și să reprezinte o componentă monobloc împreună cu acesta. Figura 6.4 prezintă a doua variantă de suport, cea monobloc, care a și fost realizată în final. În figura 6.5 se prezintă suportul cu șuruburile cu care a fost gândit să fie montat pe perete.

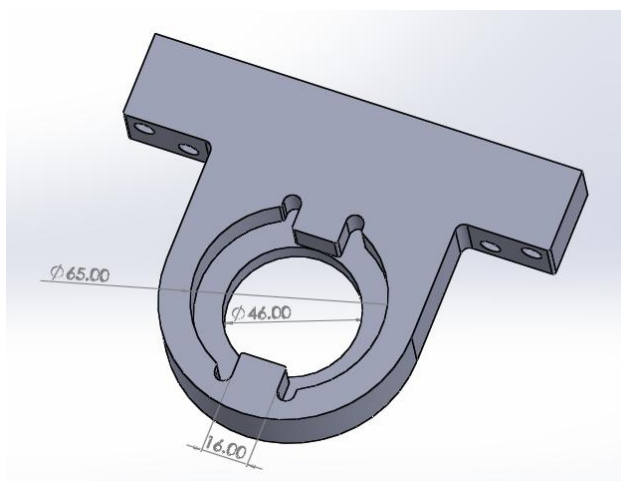


Fig. 6.4. Varianta constructivă 2 - piesă monobloc frezată din semifabricat de tip tablă

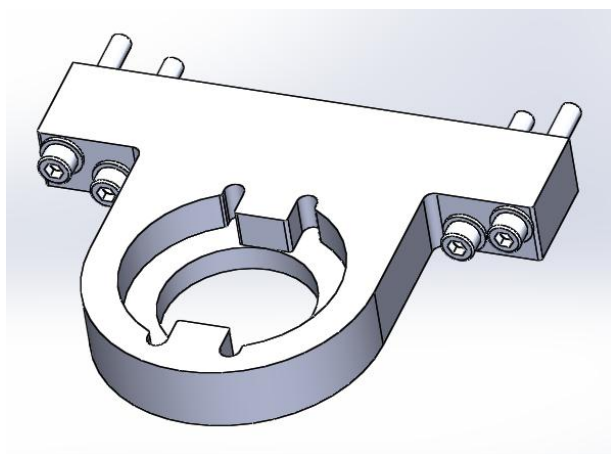


Fig. 6.5. Proiectul final al suportului și al sistemului de prindere

CAPITOLUL 7. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA UNUI DISPOZITIV AUTORIZAT ISCIR CU FURCI PENTRU MANIPULAREA IZOLATORILOR CERAMICI

O fabrică de izolatori ceramici (fig. 7.1) are nevoie de cinci bucăți dintr-un dispozitiv pentru manipularea unor produse de mari dimensiuni. Dispozitivele de ridicare se conectează la cârligul podului rulant și conform prevederilor legale trebuie autorizate ISCIR (Inspekția de Stat pentru Controlul Cazanelor, Recipientelor sub Presiune și Instalațiilor de Ridicat).



Fig. 7.1. Izolatori ceramici (INMR, 2021)

În vederea ofertării se consultă legislația care guvernează funcționarea instalațiilor de ridicare și cerințele specifice ale clientului și se întocmește un caiet de sarcini. Variantele constructive trebuie să răspundă mai multor obiective:

- să aibă o masă de maxim 20 kg pentru transportare ușoară în

interiorul halei;

- să poată fi cuplate la podurile rulante ale beneficiarului simplu și rapid;
- să poate prinde izolatorii între aripi fără a deteriora stratul exterior al acestora;
- să fie reglabile astfel încât să poată fi folosite la întreaga gamă de izolatori produși de beneficiari;
- să ofere manevrabilitate, siguranță în exploatare și fiabilitate.

Se face o analiză de piață. În urma acesteia se constată că toate costurile de dezvoltare și de autorizare vor trebui amortizate de cele cinci bucăți, deoarece nu există și alți potențiali beneficiari în zonă.

Se inspectează dispozitivele curente pe care le folosește fabrica și care nu sunt conforme cu prevederile în vigoare. Se utilizează dispozitive cu furci realizate din țevă rotundă cu nervuri de rigidizare. Dispozitivele se conectează la cârligul macaralei de la podul rulant. Dispozitivele sunt greoaie, prezintă manevrabilitate redusă și nu rezistă la ridicarea izolatorilor de dimensiuni mari, manevrarea acestora realizându-se cu dispozitive adaptate la brațele unui motostivuator.

Se consultă și literatura de specialitate, cele mai apropiate soluții fiind cele utilizate la furcile stivuitoarelor.

Se elaborează cerințele funcționale:

- Dispozitivul va fi capabil să manevreze izolatori ceramici cu următoarele caracteristici:
 - ◆ diametru: 100 - 400 mm;
 - ◆ înălțime: 600 - 2000 mm;
 - ◆ distanța între aripi: 20 - 100 mm;
- Temperatura de funcționare va fi cuprinsă între 10 și 50°C;

- Temperatura de depozitare va fi cuprinsă între -30 și 60°C;
- Gradul de umiditate atmosferică 0 - 80 %;
- Dispozitivul trebuie să reziste la condiții severe: apă, murdărie, praf;
- Dimensiunile maxime de gabarit vor fi 600 x 600 x 800 mm;
- Costul de producție va fi ≤ 300 EUR / buc.

Cerințele de fabricare sunt stricte și presupun autorizarea proiectului de către un inginer acreditat ISCIR, trasabilitatea materialelor folosite, existența unor certificate de calitate pentru ele și sudarea lor de către un sudor autorizat ISCIR pentru dispozitive de ridicare. Din acest motiv pentru fabricare se alege varianta colaborării cu o fabrică care realizează structuri sudate și care îndeplinește condițiile anterior enumerate.

Cerințele operaționale presupun ca dispozitivul cu furci să fie ușor de manipulat, să poată muta izolatori din întreaga gamă a beneficiarului și să aibă o durată de viață de minimum 5 ani, excepție făcând protecțiile din cauciuc la care se admite schimbarea la 1 an.

Ca standarde de acceptare se prevăd următoarele:

- dispozitivul va respecta prescripția tehnică PT R1 / 2010 referitoare la mașini de ridicat (macarale, mecanisme de ridicat, platforme ridicătoare etc.);
- integritatea sudurilor se va verifica cu lichide penetrante atât înaintea, cât și după efectuarea testelor la beneficiar;
- dispozitivul se va testa pe întreaga gamă de izolatori aflați în stocul clientului pentru evaluarea stabilității și manevrabilității sale;
- avizul final ISCIR va fi obținut de către beneficiar în urma unei inspecții.

După semnarea contractului se proiectează mai multe variante constructive. Prima este similară cu dispozitivul care există la fabrică și anume un cadru din țevă rotundă (fig. 7.2). Se constată în timpul analizei statice cu element finit că la sarcină maximă țeava se deformează plastic, nerespectând în acest fel cerințele de securitate. Folosirea unei țevi de diametru sau grosime mai mari duce la nerespectarea cerințelor de greutate.

A doua variantă analizată este același cadru din țevă rotundă, dar cu adăugarea unei nervuri din tablă (fig. 7.3). Se remediază problema tensiunii mari apărute pe țevă, dar se constată apariția unei tensiuni mari la baza nervurii și nerespectarea coeficientului de siguranță în acest loc.

A treia variantă presupune modificarea nervurii în scopul scăderii tensiunilor echivalente sub un prag admisibil (fig. 7.4). Nici schimbarea geometriei acesteia nu dă rezultate satisfăcătoare, astfel că se renunță și la aceasta.

Deoarece cadrul are forma literei “C” și este clară necesitatea ranforsării segmentului vertical al literei, se schimbă proiectul și se alege o țevă cu profil dreptunghiular, așezată cu latura mai mare a secțiunii exact pe această direcție.

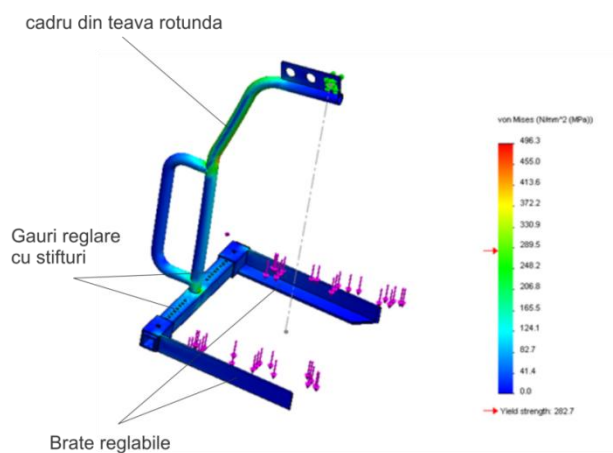


Fig. 7.2. Varianta 1: Cadru din țevă rotundă

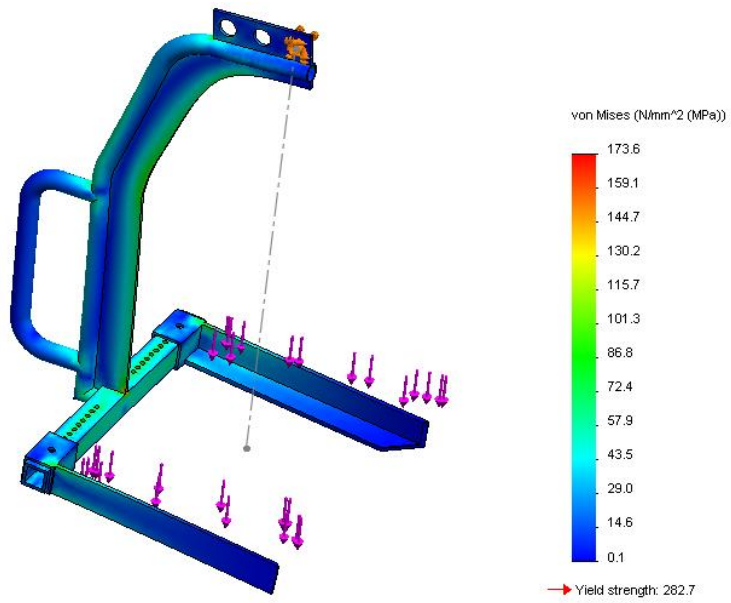


Fig. 7.3. Varianta 2: Cadru din țevă rotundă cu nervură

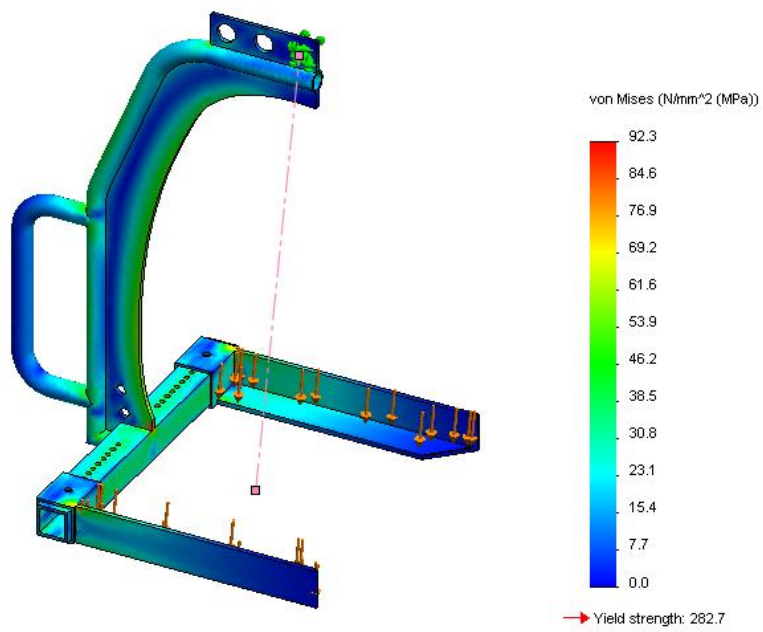


Fig. 7.4. Varianta 3: Cadru din țevă rotundă cu nervură optimizată

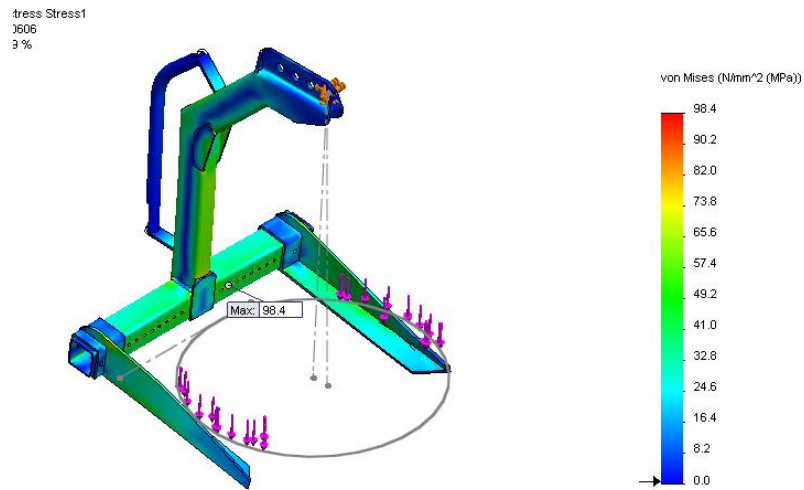


Fig. 7.5. Varianta 4: Cadru din țevă dreptunghiulară cu întărituri

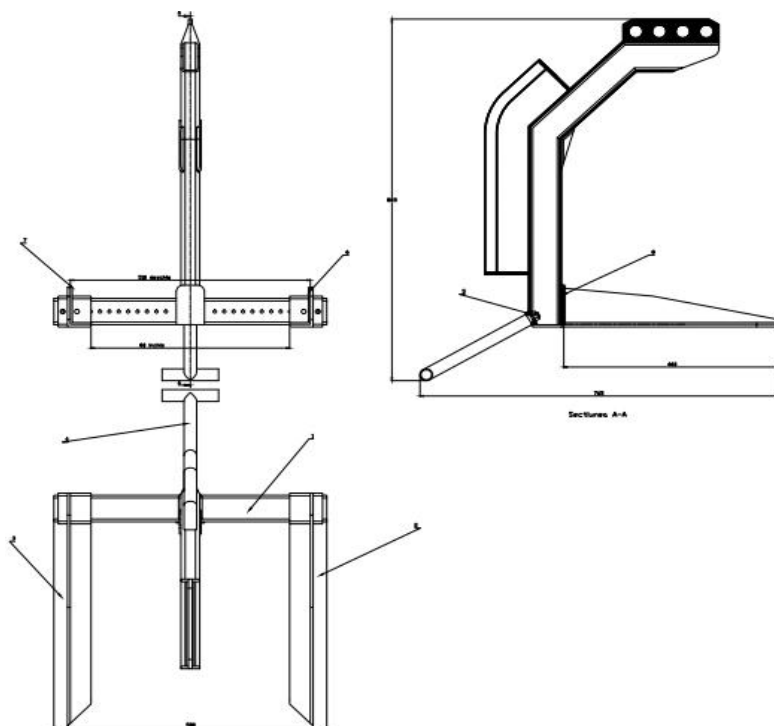


Fig. 7.6. Parte din desenul de ansamblu al dispozitivului de ridicare

Această a patra variantă (fig. 7.5.) îndeplinește toate cerințele funcționale și pe cele de fabricație. Profilele folosite în proiectare sunt standard și se găsesc în stocul unui depozit local la calitatea de material cerută.

După definitivarea modelului CAD al ansamblului urmează realizarea desenului de ansamblu, a desenelor de execuție pentru componente, a unui opis al desenelor și a unei liste de necesar de materiale.

Pe baza specificațiilor de proiectare și a soluțiilor conceptuale alese se întocmesc:

- desenul de ansamblu;
- desenele de subansamblu (dacă este cazul);
- desenele de execuție (cu cote, toleranțe, condiții tehnice).

Desenul de ansamblu trebuie să redea:

- poziționarea reperelor componente ale ansamblului astfel încât să servească la montarea și demontarea ansamblului și înțelegerea funcționării produsului;
- cotele de gabarit și ajustajele dintre anumite reperi componente;
- condițiile tehnice privind:
 - ◆ asamblarea / reglarea / verificarea unor caracteristici funcționale;
 - ◆ vopsirea / ambalarea etc.

Desenul de execuție trebuie să ofere:

- un număr de vederi, secțiuni și detalii cu cote și toleranțe și rugozități care să definească forma, dimensiunile piesei și calitatea suprafețelor prelucrate;
- condițiile tehnice privind:

- ◆ toleranțele cotelor libere;
- ◆ tratamente termice, termochimice sau măsuri de protecție anticorozivă etc.;
- ◆ materialul din care se executa reperul.

Ansamblu general			DF-01.0
	Suport (subansamblu)		DF-01.01.0
		Nervura 1	DF-01.01.01
		Placa cârlig	DF-01.01.02
		Segment 1	DF-01.01.03
		Segment 2	DF-01.01.04
		Nervura 2	DF-01.01.05
		Segment 3	DF-01.01.06
		Placa rigidizare	DF-01.01.07
		Braț lateral	DF-01.01.08
		Mâner	DF-01.01.09
		Placa fixare	DF-01.01.10
	Furca stânga (subansamblu)		DF-01.02.0
		Țeava pătrată	DF-01.02.01
		Profil cornier stg.	DF-01.02.02
		Piulița	DF-01.02.03
	Furca dreapta (subansamblu)		DF-01.03.0
		Țeava pătrată	DF-01.02.01
		Profil cornier dr.	DF-01.03.02
		Piulița	DF-01.02.03
	Mâner detașabil (subansamblu)		DF-01.04.0
		Țeava 1	DF-01.04.1
		Tava 2	DF-01.04.2
		Piesa filetata	DF-01.04.3

Fig. 7.7. Opisul desenelor tehnice

Desenul de ansamblu (fig. 7.6) conține și un tabel de componență în care sunt trecute denumirile componentelor, desenul lor de execuție sau standardul conform căruia pot fi achiziționate, materialul lor și numărul de bucăți necesar.

Figura 7.7 este opisul desenelor tehnice care compun proiectul, iar în figura 7.8 se prezintă relația dintre desenul de ansamblu, desenele de subansamblu și cele de execuție, așa cum este indicată și de codificarea planșelor.

8	Cauciuc placa		1	cauciuc	
7	Cauciuc dreapta		1	cauciuc	
6	Cauciuc stanga		1	cauciuc	
5	Pluuta M12	DIN 985-8	1		
4	Maner detasabil	DF-01.04.0	1	S235	
3	Furca dreapta	DF-01.03.0	1	S235	
2	Furca stanga	DF-01.02.0	1	S235	
1	Support	DF-01.01.0	1	S235	
Poz Denumire		Referinta	Buc	Material	Dis
Desenat: Mihai CUPAN					
Verificat: Mihai CUPAN					
Data:					
Scara 1:2		S.C. MHC RESEARCH S.R.L.			
		Dispozitiv cu furci			
Format A0		DF-01.0			

10	Placa fixare	DF-01.01.10	1	S235	
9	Maner	DF-01.01.09	1	S235	
8	Brat lateral	DF-01.01.08	1	S235	
7	Placa rigidizare	DF-01.01.07	1	S235	
6	Segment 3	DF-01.01.06	1	S235	
5	Nervura 2	DF-01.01.05	2	S235	
4	Segment 2	DF-01.01.04	1	S235	
3	Segment 1	DF-01.01.03	1	S235	
2	Placa carlig	DF-01.01.02	1	S235	
1	Nervura 1	DF-01.01.01	2	S235	
Poz Denumire		Referinta	Buc	Material	Dis
Desenat: Mihai CUPAN					
Verificat: Mihai CUPAN					
Data:					
Scara 1:2		S.C. MHC RESEARCH S.R.L.			
		Support			
Format A0		DF-01.01.0			

Desenat: Mihai CUPAN			Data:	Material: S235
Verificat: Mihai CUPAN				
Scara 1:1		S.C. MHC RESEARCH S.R.L.		
		Nervura 1		
Format A4		DF-01.01.01		

Fig. 7.8. Oglindirea relației dintre planșe prin numerele de desen

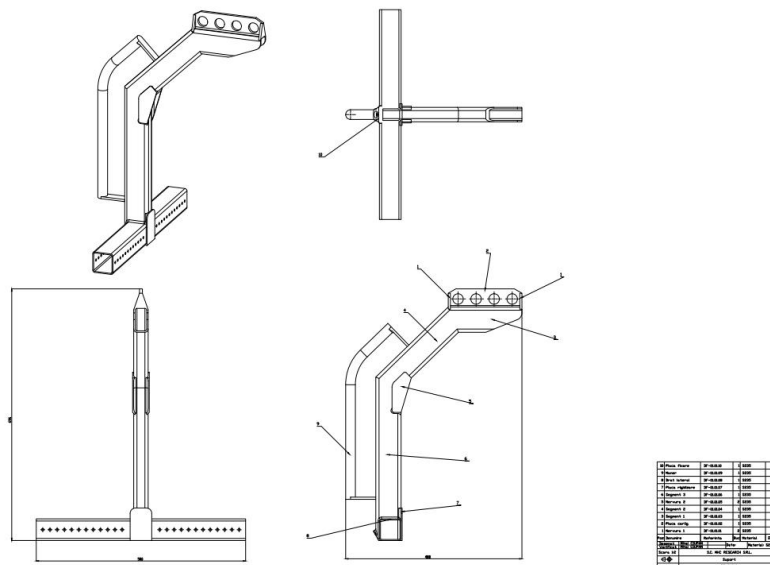


Fig. 7.9. Desenul de subansamblu al cadrului

În figura 7.9 se prezintă un desen de subansamblu pentru cadrul dispozitivului cu furci. Acesta este format din mai multe profile debitate și găurite, iar în cazul mânerului, acesta este curbat pentru a se încadra mai bine cu subansamblul atât din punct de vedere estetic, cât și ergonomic.

Figura 7.10 reprezintă un desen de sudură pentru asamblarea părților componente, iar 7.11 este desenul de execuție al furcii stângi.

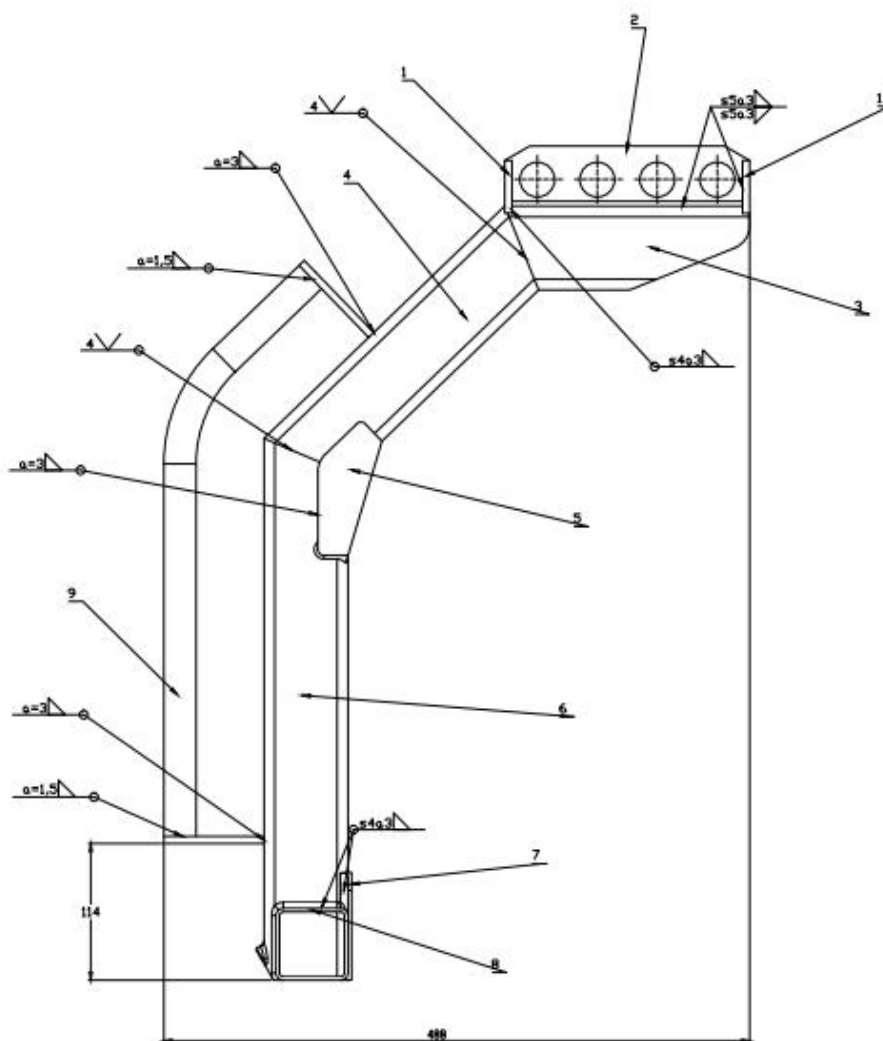


Fig. 7.10. Desenul de sudură a cadrului

În figura 7.12 se prezintă desenul de execuție al segmentului pătrat al celor două furci. Acesta este prevăzut cu 2 găuri de știft poziționate astfel încât furcile să poată fi reglate la jumătate distanța dintre două găuri de pe brațele cadrului. S-a ales varianta blocării cu știfturi a furcilor datorită vitezei mari cu care se face reglajul și a siguranței în utilizare.

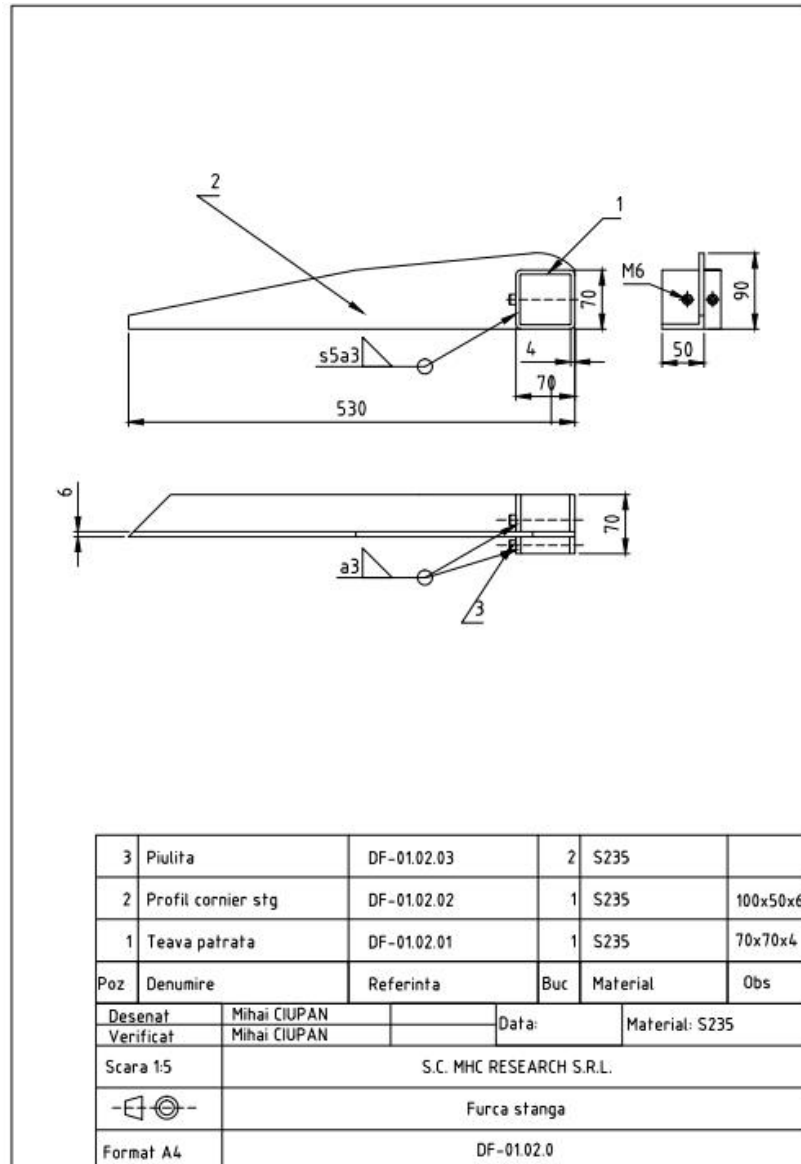


Fig. 7.11. Desenul de sudură a furcii stângi

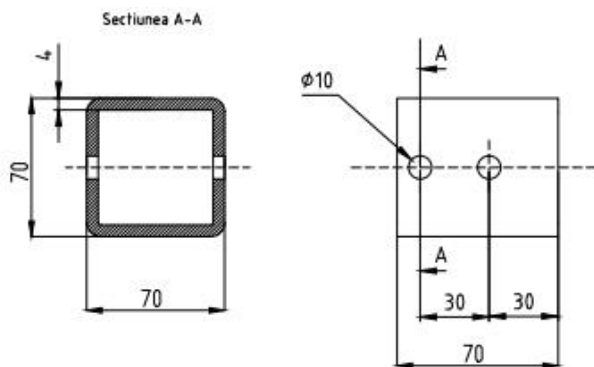


Fig. 7.12. Desenul de execuție al segmentului pătrat

În figura 7.13 se prezintă un extras din toleranțele cotelor libere așa cum sunt descrise acestea în standardul ISO 2768. Este important să se aleagă o clasă de precizie (ex: mk) pentru cotele netolerate, deoarece altfel nu există nici un control asupra calității execuției.

Clasă de toleranțe		Abateri limită pentru domeniul de dimensiuni nominale							
Simbol	Descriere	de la 0,5 ¹⁾ până la 3	peste 3 până la 6	peste 6 până la 30	peste 30 până la 120	peste 120 până la 400	peste 400 până la 1000	peste 1000 până la 2000	peste 2000 până la 4000
f	fină	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	-
m	mijlocie	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	grosieră	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	grosolană	-	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

¹⁾ Pentru dimensiuni nominale sub 0,5 mm, abaterile limită trebuie înscrise după dimensiunea nominală.

ISO 2678 -mk

Rugozitatea suprafețelor neindicate în desen

Alte rugozități indicate în desen

1. Înscriserile individuale pentru fiecare suprafață a ania dintre parametrii de rugozitate, Ra sau Rz, și a unor caracteristici suplimentare de stare.
 Exemplul 1: $\frac{Ra\ 0,8}{0,5}$ Rectificat $\frac{3Rz\ 0,8}{0,5}$
 Exemplul 2: $\frac{Ra\ 0,8}{0,5}$ Rectificat $\frac{Ra\ 0,4}{0,5}$ Rectificat $\frac{3Rz\ 0,8}{0,5}$

2. Înscriserile generale deasupra tabelului indicator a unui singur simbol cu caracteristicile de stare, care reprezintă starea suprafețelor neindicate în desen.
 Exemplu:
 $Ra\ 1,6$
 Acest mod se aplică în două cazuri, respectiv:
 - în cazul în care toate suprafețele au aceeași stare, dar neindicate individual în desen;
 - în cazul în care majoritatea suprafețelor au o stare diferită indicată individual în desen, iar simbolul reprezintă starea acelor suprafețe neindicate individual în desen.

3. Înscriserile generale deasupra tabelului indicator a mai multor simboluri, respectiv a unui simbol scindat, scindat în tiga unei paranteze, care reprezintă starea acelor suprafețe neindicate în desen, normal, în paranteză, de unul sau mai multe simboluri de bază, care reprezintă starea suprafețelor indicate individual în desen.
 Exemplul 1: $Ra\ 1,6$ $\frac{Ra\ 0,8}{(\checkmark)}$
 Exemplul 2: $Ra\ 1,6$ $\frac{Ra\ 0,8}{(\checkmark)}$ $\frac{Ra\ 0,4}{(\checkmark)}$

Desenat	Miha CUPAN	Data	Material: S235
Verificat	Miha CUPAN		
Scara	1:1	S.C. MK RESEARCH S.R.L.	
		Nervura 1	
Format	A4	DF-01.01.01	

Fig. 7.13. Extras din standardul ISO 2678 privind cotele libere

CAPITOLUL 8. STUDIU DE CAZ: PROIECTAREA UNOR REDUCȚII PENTRU PORTSCULE DE TIP BOT PENTRU STRUNG

Pentru fixarea cuțitelor de interior pe strunguri Haas cu turele hibride (fig. 8.1) sunt necesare portscule VDI sau BOT. Locașurile VDI au un alezaj care permite o aliniere precisă și din acest motiv sunt folosite mai des pentru burghie, alezoare sau tarozi care lucrează pe axa de rotație a piesei sau portscule antrenate, dacă strungul are această dotare.

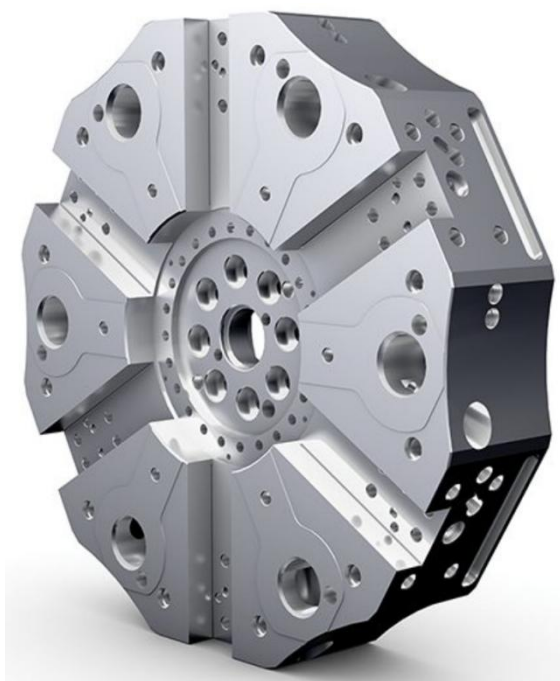


Fig. 8.1. Turelă hibridă pentru strung Haas (Haas, n.d.)

Astfel rămân în principal pozițiile periferice pentru portsculele BOT (fig. 8.2) care pot fi folosite pentru cuțite de interior. Pentru modelul de strung ST10-Y, turela vine standard cu două portscule BOT cu diametrul de 32 mm,

un diametru mare pentru cozile cuțitelor de interior care sunt în general în gama 12 - 20 mm pentru dimensiunea aceasta de strung. Din acest motiv pentru strungul Haas din laboratorul E07 al Universității Tehnice din Cluj-Napoca s-au proiectat și realizat două reducții:

- de la Ø32 mm la Ø20 mm (fig. 8.3);
- de la Ø32 mm la Ø16 mm.



Fig. 8.2. Portsculă BOT pentru cuțite de interior (RedLine Tools, n.d.)

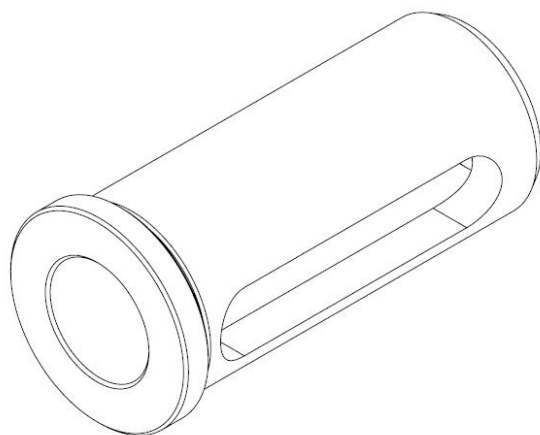


Fig. 8.3. Reducție de la Ø32 mm la Ø20 mm

Desenul tehnic al reducăiei este prezentat în figura 8.4, după acesta realizându-se și programul CNC. Dimensiunile critice pentru această piesă au fost diametrul exterior și interior al buceiei. Pentru cota nominală exterioară s-a măsurat alezajul portsculei, iar pentru cota interioară diametrul cozii cuțitului.

În stabilirea toleranțelor pentru cele două dimensiuni s-au luat în considerare următoarele aspecte:

- faptul că este necesară o poziționare precisă și fixă în portscula BOT a cuțitului de strung;
- piesele trebuie să fie ușor de asamblat cu mâna, adică să nu aibă o strângere mare.

Astfel s-a ales un ajustaj intermediar cu o toleranță foarte mică atât pentru exteriorul, cât și pentru interiorul buceiei: ± 0.01 mm. Această toleranță este cu atât mai greu de atins cu cât valoarea se referă la diametru, însemnând că pentru rază, adică distanța pe care se deplasează sania transversală, toleranța scade la jumătate ± 0.005 mm.

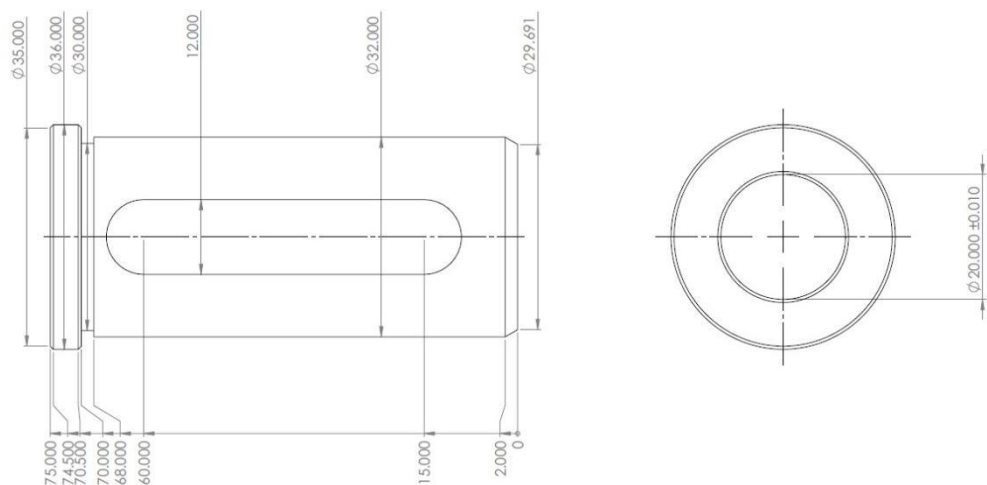


Fig. 8.4. Desenul de execuție al reducăiei de la $\varnothing 32$ mm la $\varnothing 20$ mm

În figurile 8.5 și 8.6 se prezintă reducția de la $\text{Ø}32$ mm la $\text{Ø}20$ mm obținută prin strunjire din bară plină pe strungul Haas ST10-Y.



Fig. 8.5. Reducția de la $\text{Ø}32$ mm la $\text{Ø}20$ mm



Fig. 8.6. Reducția și cușitul asamblate

CAPITOLUL 9. STUDIU DE CAZ: REPROIECTAREA STRUCTURII UNUI FOTOLIU ȘI A UNEI MATRIȚE PENTRU PROTOTIPIZARE

9.1. Aspecte generale privind fabricarea fotoliilor

În cadrul unei fabrici producătoare de mobilier s-a dorit reproiectarea structurii unui fotoliu tapițat. Structura inițială era formată dintr-un cadru metalic peste care se injecta un burete poliuretanic care, pe lângă faptul că umplea golurile din cadru, avea și rol de material de confort.

Modelul inițial al scaunului este prezentat în figura 9.1.

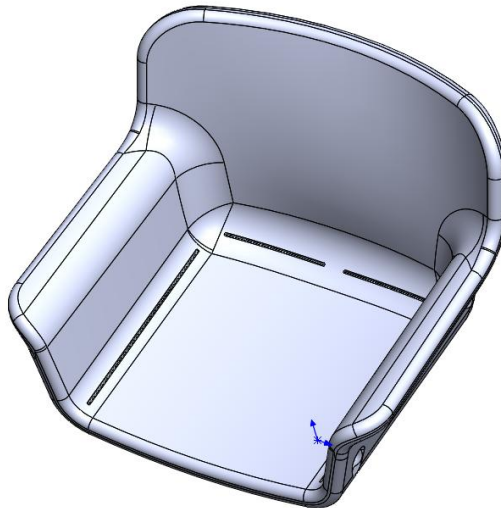


Fig. 9.1. Modelul inițial al scaunului
(cadru metalic și spumă poliuretanică)

Fabricarea structurii presupunea o serie de etape de durată și implică un cost mai mare: debitarea profilelor de oțel, sudarea lor și injectarea spumei poliuretanică peste cadru într-o matriță. De asemenea, spuma poliuretanică

este foarte rezistentă la degradare și nu poate fi reciclată, punând mari probleme de mediu la sfârșitul vieții produsului.

Datorită acestor neajunsuri, fabrica și-a propus să înlocuiască structura scaunului cu o scoică dintr-o singură piesă din material compozit cu fibre vegetale. Materialul este unul inovator prin faptul că matricea folosită nu este o rășină termorigidă, ci este una termoplastă. Din acest motiv structura de mobilier poate fi ușor reciclată prin tocare și injectare sau extrudare în alte produse.

Printre cerințele clientului se numără:

- păstrarea aspectului original al scaunului;
- imitarea rigidității / flexibilității modelului original pentru a nu se distinge de prima variantă care era deja vândută;
- obținerea unei mase cât mai reduse de material din rațiuni economice.

Pentru proiectarea modelului a fost importantă și înțelegerea procesului de fabricație folosit. Materialul compozit se obține prin întrețesere din fibre vegetale și fibre termoplaste. Pătura astfel obținută se decupează conform unui model de tăiere. Pentru un scaun sunt necesare mai multe straturi suprapuse. Dacă în urma optimizării cu analiză cu element finit se constată necesară întărirea sau rigidizarea anumitor zone, acest lucru se poate face prin adăugarea unor bucăți de strat compozit pe porțiunile respective.

După așezarea tuturor bucăților de material compozit pe poziție, acestea se introduc într-o presă cu platane calde unde în decurs de câteva minute plasticul este topit.

Pasul următor presupune mutarea straturilor croite și topite într-o presă cu o matriță rece unde, prin comprimare, materialul ia forma finală a scoicii de scaun. După câteva minute, structura este solidificată și poate fi extrasă.

Urmează decuparea pe contur și debavurarea, iar mai apoi scoicile sunt trimise către depozit unde stau până la intrarea în procesul final de asamblare a scaunului.

9.2. Reproiectarea modelului și a matriței

Noua structură a scaunului a fost proiectată cu o grosime de 6 mm. Datorita dimensiunilor mari ale scaunului, dacă matrița ar fi fost realizată dintr-un aliaj de aluminiu sau un oțel, aceasta ar fi avut o durată lungă de fabricație și un cost ridicat. Pentru că produsul era încă în faza de prototip și nu erau necesare mai mult de 20 de bucăți pentru testare, s-a decis realizarea unei matrițe din plăci de lemn stratificat (LVL = laminated veneer lumber).

Etapele de fabricație a matriței au fost:

- proiectarea celor două părți (miez și cavitate) și optimizarea lor pentru o mai bună funcționare și o mai simplă realizare;
- felierea fiecărei jumătăți în placi cu o grosime egală cu a celor de LVL (15 mm);
- îndreptarea muchiilor plăcilor, deoarece debitarea se putea face doar în plan perpendicular pe placă (licența SprutCAM nu includea modulul SWARF);
- programarea robotului și debitarea pe contur a acestora și asamblarea cu tije filetate;
- programarea robotului și frezarea de finisare a miezului și a cavității.

În figura 9.2 se prezintă cele două jumătăți ale matriței, iar în 9.3 fiecare dintre cele două jumătăți ale acesteia.

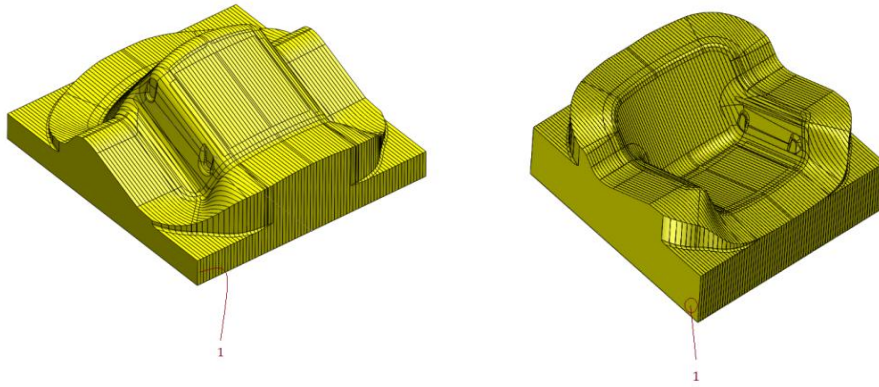


Fig. 9.2. Miezul și cavitatea matriței

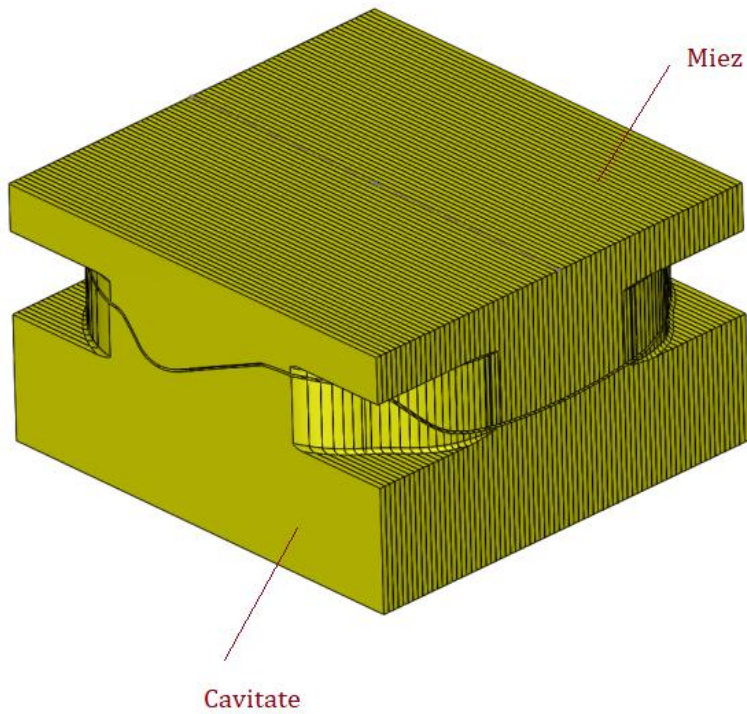


Fig. 9.3. Matrița asamblată

S-a hotărât ca plăcile să nu fie lipite între ele pentru ca să fie ușor de înlocuit dacă se deteriorează.

9.3. Fabricarea matriței și a primelor prototipuri

Pentru programarea robotului Kuka KR210 s-a folosit un soft CAM specializat pentru roboți, SprutCAM Robot. Pentru debitarea plăcilor, modelul CAD al fiecăreia a fost importat în format IGES și s-a creat o operație de tăiere pe contur. La final s-a obținut codul specific sistemului de comandă KRC 2 al robotului, folosind un postprocesor realizat la comanda și integrat în SprutCAM. În figura 9.4 se poate vedea o captură de ecran cu debitarea profilată a unei plăci și în 9.2 realizarea efectivă a ei pe robot.

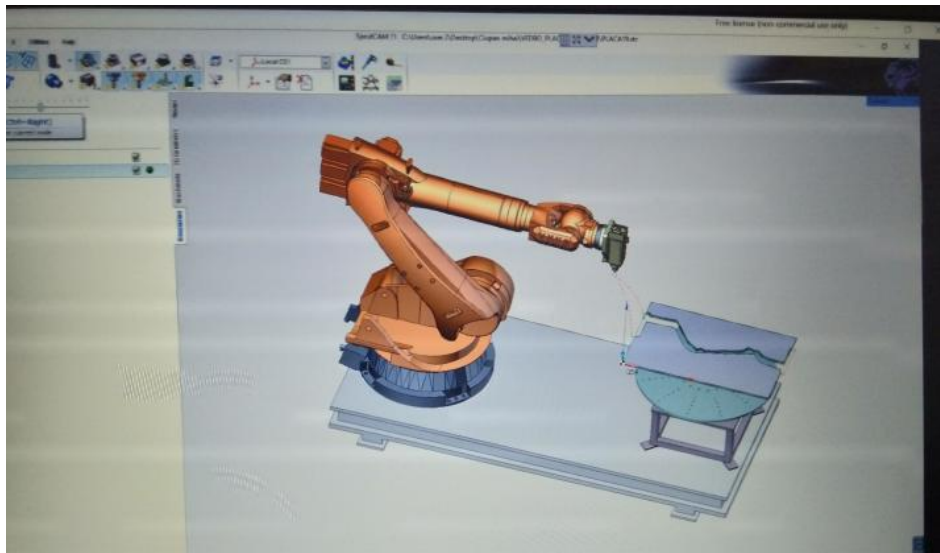


Fig. 9.4. Debitare profilată în SprutCAM

În figura 9.6 se prezintă o imagine din timpul procesului de asamblare a cavității, iar în 9.7 se vede miezul înaintea frezării de finisare.

La momentul asamblării a devenit clar că înlocuirea plăcilor din matriță ar fi dificilă pentru că plăcile aveau variații foarte mari de grosime. Față de dimensiunea nominală de 15mm, dimensiunea lor varia de la 14 la 16 mm.

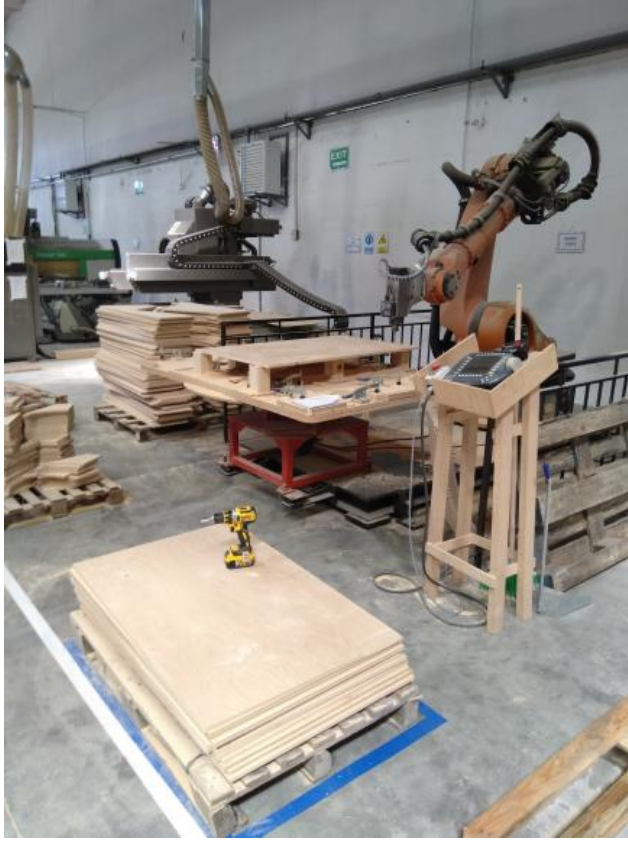


Fig. 9.5. Debitare profilată efectivă cu robotul



Fig. 9.6. Asamblarea cavitații



Fig. 9.7. Miezul înainte de frezarea de finisare

Datorită muchiilor rămase în urma debitării pe contur, cele două jumătăți ale matriței au fost finisate prin frezare. Pentru așezarea blocurilor asamblate pe masa robotului s-a conceput un dispozitiv special, astfel încât să nu fie necesară demontarea elementelor deja montate pe aceasta. Blocurile de lemn pe care au fost poziționate jumătățile matriței au fost frezate după instalare pe masă pentru a li se asigura o cât mai bună planeitate. Transportul matrițelor s-a făcut cu ajutorul unui motostivuitor datorita masei mari: miezul cântărea 300 kg, iar cavitatea 400 kg.

Prin frezare toate suprafețele au devenit netede, element ce a facilitat procesul de termoformare al compozitului vegetal. Figurile 9.8 și 9.9 prezintă momente din timpul procesului de finisare al miezului și al cavității.

În figura 9.10 se vede una din primele scoici de scaun termoformate folosind matrița frezată cu robotul.



Fig. 9.8. Frezarea de finisare a miezului



Fig. 9.9. Frezarea de finisare a cavității



Fig. 9.10. Unul din prototipurile termoformate folosind matrița

BIBLIOGRAFIE

- Aggogeri, F., Borboni, A., Faglia, R., Merlo, A., & Cristofaro, S. D. (2013). Precision Positioning Systems: An Overview of the State of Art. *Applied Mechanics and Materials*, 336-338, 1170–1173. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.336-338.1170
- Alberti, M., Ciurana, J., Rodríguez, C. A., & Özel, T. (2009). Design of a decision support system for machine tool selection based on machine characteristics and performance tests. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22(2), 263–277. doi: 10.1007/s10845-009-0286-6
- Alibaba. (n.d.). X6328B mini omniversal china universal electrical clutch cnc drilling milling machine for metal. Alibaba. https://www.alibaba.com/product-detail/X6328B-mini-omniversal-china-universal-electrical_1600202748152.html
- Archer, B. (1969). *Systematic method for designers: technological innovation: a methodology*. Springer/Design Council, UK
- Athawale, V. M., & Chakraborty, S. (2010). A TOPSIS Method-based Approach to Machine Tool Selection. *Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*
- Berdnardo. (n.d.). RD 1200 Vario. Bernardo. <https://www.bernardo.at/en/metall/metallbearbeitung/bohrmaschinen/radial-und-schnellradialbohrmaschinen/rd-1200-vario.html>
- Bit Rebels. (n.d.). <https://bitrebels.com/wp-content/uploads/2019/05/small-business-assembly-robots-header-image.jpg>

- Chavoshi, S. Z., Goel, S., & Morantz, P. (2017). Current trends and future of sequential micro-machining processes on a single machine tool. *Materials & Design*, 127, 37–53. doi: 10.1016/j.matdes.2017.04.057
- Chung, C., & Peng, Q. (2004). The selection of tools and machines on web-based manufacturing environments. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 44(2-3), 317–326. doi: 10.1016/j.ijmachtools.2003.09.002
- Ciupan, E. (2020). *Design industrial și inginerie economică*. Editura UTPRESS, Cluj-Napoca. ISBN 978-606-737-430-8
- Ciupan, M. (2020). *Contribuții privind proiectarea unor componente structurale din materiale compozite pentru mașini-unelte moderne*. Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca.
- Cross, N. (1984). *Developments in Design Methodology*. Wiley, UK
- Cross, N. (1989). *Engineering Design Methods*. Wiley, UK
- Cross, N. (2008) *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design*. Wiley, UK
- Cuoghi. (n.d.). MAC 20 – 4 Axes CNC Tool Grinding Machine. Cuoghi Affilatrici S.r.l. <https://www.cuoghi-sharpeners.com/en/mac-20-4-axes-cnc-tool-grinding-machine.html>
- Danford, M. (2017). HMC Skiving Consolidates Gear Machining. *Modern Machine Shop*. <https://www.mmsonline.com/blog/post/hmc-skiving-consolidates-gear-machining->
- Davydov D., V. M. Volgin & V. V. Lyubimov. 2004. *Electrochemical Machining of Metals: Fundamentals of Electrochemical Shaping*
- Design Council, UK (2005) *The Design Process: What is the Double Diamond?* Springer/Design Council, UK

- Dubberly, H. (2004). How do you design: a compendium of models. Dubberly Design Office, San Francisco, USA.
- Engineering Learn. (n.d.). Types of drilling machines. Engineering Learn. <https://engineeringlearn.com/drilling-machines-types-operation/>
- EVS. (n.d.). Industrial Robotic Arm Supplier. EVS. <https://www.evsint.com/wp-content/uploads/2020/09/4.jpg>
- Felix, C. (2012). Electrochemical Machining for Medical, Aerospace and More. Production Machining. <https://www.productionmachining.com/articles/electrochemical-machining-for-medical-aerospace-and-more>
- Feucht, F., Ketelaer, J., Wolff, A., Mori, M., & Fujishima, M. (2014). Latest Machining Technologies of Hard-to-cut Materials by Ultrasonic Machine Tool. Procedia CIRP. 14. 148–152. 10.1016/j.procir.2014.03.040.
- Forst. (n.d.). Helical Broaching Tools. Forst. <https://www.forst-online.de/index.php/en/products/broaching-tools/helical-broaching-tools>
- Galiş, M., Popescu, S., Pop, C., & Ciupan, C. (1994). Proiectarea maşinilor unelte. Ed. Transilvania Press
- Gebe2. (n.d.). Solutions robotisee pour l'industrie. Gebe2. <https://gebe2-et.com/wp-content/uploads/sites/2/2017/05/Usinage-robotis%C3%A9-des-composites.jpg>
- Gillardon. (n.d.). Coordinate-drilling-machine GK 40 VE. Gillardon. <https://www.gillardon.net/en/drilling-machines/coordinate-drilling-machines/coordinate-drilling-machines-series-gk-gillardon/coordinate-drilling-machine-gk-40-ve.html>
- Google. (2022). Google Images. Google Images. <https://images.google.com/>

- Grainger. (n.d.). What Is High-Speed Machining - Grainger KnowHow. Retrieved May 7, 2020, from <https://www.grainger.com/know-how/industry/metalworking/kh-what-is-high-speed-machining>
- Grames, E. (2020). FDM 3D Printing – Simply Explained. All3DP. <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
- Haas. (n.d.). Haas CNC machines. Haas. <https://www.haascnc.com/index.html>
- Haimer. (n.d.). Steep taper JIS (MAS 403) BT30/BT40/BT50. Haimer. <https://www.haimer.biz/products/tool-holders/jis-mas-403-bt30bt40bt50.html>
- Heltos. (n.d.). Gang drill VR 3/20 B. Heltos. <http://www.heltos.cz/en/gang-drill-vr-3-20-b-2-129.html>
- Herbert, A. S. (1969). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press, Cambridge
- Hubka, V. (1982). *Principles of Engineering Design*, Butterworth Scientific Press, UK
- Hubs. (n.d.). Knowledge base. Hubs. <https://www.hubs.com/knowledge-base/>
- IMSA. (n.d.). The Deep Drilling Process. IMSA. <https://www.imsaitaly.com/en/articles/the-deep-drilling-process>
- INMR. (2021). Manufacture of Porcelain Insulators. INMR. <https://www.inmr.com/manufacture-of-porcelain-insulators/>
- Jones, J. C. (1980). *Design Methods*. Wiley, UK
- Karpuschewski, B. (2019). Gear grinding. SpringerLink. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-642-20617-7_6425

- Kim, H. S., Park, K. Y., & Lee, D. G. (2000). A study on the epoxy resin concrete for the ultra-precision machine tool bed. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0924013694017056>
- Kopeliovich, D. (n.d.). Electrochemical machining. Substech. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=electrochemical_machining
- Korat, M. M., & Acharya, G. D. (2014). A Review on Current Research and Development in Abrasive Waterjet Machining
- Kuka. (n.d.). Kuka. <https://www.kuka.com/en-de>
- Kumar, J. (2013). Ultrasonic Machining—A Comprehensive Review, *Machining Science and Technology*, 17:3, 325-379, DOI: 10.1080/10910344.2013.806093
- Listek, V. (2021). 3D Printing Financials: SLM Solutions Reports Net Loss of €5.1M for 2021 First Quarter. 3D Print. <https://3dprint.com/281554/3d-printing-financials-slm-solutions-reports-net-loss-of-e5-1m-for-2021-first-quarter/>
- Lungu, F., & Ciupan, C. (2010). Management și inginerie în afaceri. Manualul calificării. Editura UT Press, Cluj-Napoca 2010, ISBN 978-973-662-579-4
- Made in China. (n.d.). KGS1632AHD-400X800mm Automatic Surface Grinder Machines. Made in China. <https://kaitemachine.en.made-in-china.com/product/zNpnAgVOaikf/China-KGS1632AHD-400X800mm-Automatic-Surface-Grinder-Machines.html>
- Micro Special Tools. (n.d.). Machinery. Micro Special Tools. <https://microspecialtools.com/machinery/>
- Pahl, G., & Beitz, W. (1984). *Engineering Design: a systematic approach*, Springer/Design Council, UK

- Pietro Carnaghi. (n.d.). Grosse Karusselldrehmaschinen. Pietro Carnaghi.
<https://www.pietrocarnaghi.it/de/11/grosse-karusselldrehmaschinen.html>
- Power Broach. (n.d.). Power Broach.
<https://www.powerbroach.com/Indore/vertical-broaching-machine.php?id=3&name=Vertical%20Broaching%20Machine>
- Precision Matthews. (n.d.). PM-1440TL 1640TL & 1660TL Ultra Precision Lathes. Precision Matthews.
<https://www.precisionmatthews.com/shop/pm-tlseries-ultra-precision-lathes/>
- Pugh, S. (1991). Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley
- Pugh, S (1996). Creating Innovativ Products Using Total Design, Addison-Wesley
- Radu, S.-A. (2019). Tehnologii de fabricație II - suport de curs
- RedLine Tools. (n.d.). Bolt-On Tools for Haas Lathes. RedLine Tools.
<https://www.redlinetools.com/resources/bolt-on-tools-haas-lathes>
- REMSystems. (n.d.). Achieving the Rewards of Machine Tool Automation. Retrieved from <https://remsystems.co.uk/2017/07/27/achieving-the-rewards-of-machine-tool-automation/>
- Resato. (n.d.). Leading manufacturer in high pressure technologies. Resato.
<https://www.resato.com/en/>
- Rittel, H., & Webber, M. (1973). Dilemmas in a General Theory of Planning, Policy Sciences 4, 155–169.
- Sabotin, I., Tristo, G., & Valentinčič, J. (2020). "Technical Model of Micro Electrical Discharge Machining (EDM) Milling Suitable for Bottom

- Grooved Micromixer Design Optimization" *Micromachines* 11, no. 6: 594. <https://doi.org/10.3390/mi11060594>
- Samputensili. (n.d.). Cutting Tools. Samputensili. <https://www.samputensili.com/wp-content/uploads/gear-grinding-machines-innovative-solutions.jpg>
- Shin-II. (n.d.). Lathe Type BTA Drilling Machine. Deep-hole. <https://www.deep-hole.com/lathe-type-bta-gun-drilling-machine/>
- Simon, A., & Lima, C. R. (2015). Computer numeric control machine-tools utilisation by metalworking companies in Brazil. *International Journal of Manufacturing Research*. doi: 10. 267. 10.1504/IJMR.2015.071625.
- SJR Machinery Limited. (n.d.). China Chamber of Commerce for Import and Export of Machinery and Electronic Products. <https://www.cccme.cn/products/detail-8280486.aspx>
- Slide Player. (n.d.). Broaching Machines. Slide Player. <https://slideplayer.com/slide/12847550/>
- Soraluce. (n.d.). Soraluce. <https://www.soraluce.com/en>
- Stark, A. (2021). Gear grinding centre with future-proof Industry 4.0 capability. *ETMM*. <https://www.etmm-online.com/gear-grinding-centre-with-future-proof-industry-40-capability-a-1016204/>
- Summit Tooling. (n.d.). Sinker EDM machines drive innovation at Summit Tooling. Competitive Mold Maker. <https://www.moldmakermag.com/articles/sinker-edm-machines-drive-innovation/>
- TOS. (n.d.). CNC gear-shaping machine OHA 50. *Direct Industry*. <https://www.directindustry.com/prod/tos-as/product-84955-1154761.html>

- Uriarte, L., Zatarain, M., Axinte, D., Yagüe-Fabra, J., Ihlenfeldt, S., Eguia, J., & Olarra, A. (2013). Machine-tools for large parts. CIRP annals
- Wang, J. (2018). Ultrasonic Machining: A Total Mechanical Machining Technology Using Loose Abrasive Particles. In (Ed.), Abrasive Technology - Characteristics and Applications. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75170>
- Werktuigen. (n.d.). Robots Industrial robots KUKA Kuka KR60-3. Werktuigen. <https://www.werktuigen.com/kuka+kuka-kr60-3/wt-472-4403>
- Wixstatic. (n.d.). Wixstatic. https://static.wixstatic.com/media/8f76e5_ddbb074226be44e38052e4ab08268eba~mv2_d_4096_2304_s_2.jpg/v1/fill/w_640,h_452,al_c,q_90,enc_auto/8f76e5_ddbb074226be44e38052e4ab08268eba~mv2_d_4096_2304_s_2.jpg
- Xiamen Strongtech. (n.d.). Tradewheel. <https://www.tradewheel.com/p/spindle-tool-handle-bt40-er32-70-high-precision-1483452/>
- Youssef, H. A., & El-Hofy, H. (2008). Machining technology: machine-tools and operations, Taylor & Francis Group, 2008

* imagine copertă: Turnurile Trango (pakwheels.com)