

Răzvan UDROIU

Anișor NEDELCU

Ion Cristian BRAGĂ

TEHNOLOGII PERFORMANTE DE FABRICAȚIE

Tehnologii de prelucrare prin îndepărtare și redistribuire de material



Editura
Universității
Transilvania
din Brașov

2024

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A
500091 Brașov
Tel.: 0268 476 050
Fax: 0268 476 051
E-mail: editura@unitbv.ro

Editură recunoscută CNCSIS, cod 81

Copyright © Autorii, 2024

Referenți științifici: Prof. univ.dr.ing. Mihai DRAGOMIR
Prof. univ.dr.ing. Silviu BUTNARIU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României UDROIU, RĂZVAN

**Tehnologii performante de fabricație: tehnologii de prelucrare prin
îndepărtare și redistribuire de material** / Răzvan Udroi, Anișor Nedelcu,
Ion Cristian Bragă. - Brașov : Editura Universității "Transilvania" din Brașov,
2024

Conține bibliografie
ISBN 978-606-19-1751-8

I. Nedelcu, Anișor
II. Bragă, Ion-Cristian

62

Coordonare lucrare: Răzvan Udroi

Tehnoredactare și grafică computerizată: Autorii

Corectura: Autorii

Coperta: Răzvan Udroi

„Tehnologia face ca lucrurile pe care ni le imaginăm să prindă viață” (Udroiu R.)

PREFAȚĂ

O întrebare simplă care stă la baza realizării obiectelor din jurul nostru este „Cum se fabrică?” („How it’s made” în limba engleză), aceasta mereu fascinând un inginer, precum și orice persoană interesată de tehnică.

Tehnologiile performante de fabricație se nasc ca răspuns la întrebarea în esență inginerească, amintită anterior. Domeniul tehnologiilor de fabricație este foarte vast și în continuă cercetare și dezvoltare. Apărute în fază de experiment de laborator, apoi studiate mai în detaliu și optimizate, aceste tehnologii de fabricație sunt adoptate în final în diverse sectoare industriale. Scopul utilizării lor este de a permite obținerea unor produse de calitate care să satisfacă o serie de cerințe tehnice conform standardelor tehnice, dar în același timp să satisfacă nevoile și cerințele utilizatorilor finali, adică clienții. O zicală pe care o auzeam frecvent pe parcursul formării mele ca inginer, spunea „Clientul nostru, stăpânul nostru” („The customer is the king”). După mult timp am înțeles esența acestei idei și căile prin care se ajunge la satisfacerea clientului prin produse și servicii de calitate, dar și mulțumirea de sine ca inginer că ai reușit acest lucru. Totuși, această sintagmă necesită a fi îmbunătățită în „Clientul nostru, partenerul nostru” caracteristică unei relații de tip „win-win”, adică de tip „câștig-câștig”. Revenind la tehnologiile de fabricație putem spune că sunt componente esențiale în satisfacerea indirectă a clientului.

O carte despre „Tehnologii avansate de fabricație” este o provocare pentru orice inginer care își iubește meseria. Totuși, aceasta necesită o experiență profesională didactică și de cercetare, precum și un contact permanent cu mediul industrial, locul unde sunt aplicate aceste tehnologii. De asemenea cunoștințele trebuie să fie fundamentate și de domenii din amonte de fabricație în cadrul ciclului de viață al produselor, aici referindu-mă la proiectare.

Autorii acestei cărți sunt la baza formării lor profesionale ingineri, doi dintre ei fiind absolvenți de „Construcții aerospațiale” iar cel de al treilea de „Tehnologia construcțiilor de

mașini” ai Universității Transilvania din Brașov. Toți cei trei coautori au doctoratul în domeniul „Ingineriei industriale”. Primii doi autori ai acestei monografii sunt titulari ai cursului „Tehnologii performante de fabricație” predat la masterul „Ingineria fabricației inovative” din cadrul facultății I.T.M.I., Universitatea Transilvania din Brașov.

Cartea intitulată ”Tehnologii performante de fabricație - Tehnologiile de prelucrare prin îndepărtare și redistribuire de material”, prezintă în cadrul celor 7 capitole, noțiuni privind conceptul de proces de fabricație integrat în ciclul de viață al produselor, tehnologii de prelucrare convenționale și neconvenționale, conducerea numerică a proceselor tehnologice, tehnologii de prelucrare prin sinterizare a pulberilor, precum și aspecte privind controlul calității și controlul statistic în procesele de fabricație.

În primul capitol a fost realizată o sinteză a aspectelor de bază privind procesele de producție și procesele tehnologice, tipuri de producție, structura procesului tehnologic, etapele de concepție a procesului de prelucrare și procesele tehnologice de asamblare. Procesele tehnologice de prelucrare și procesele tehnologice de asamblare joacă un rol important în introducerea tehnologiilor performante de fabricație în industrie. Simularea proceselor tehnologice utilizând modele 3D, ansambluri digitale 3D și manechine digitale 3D joacă un rol important în reducerea timpului de lansare pe piață de noi produse, precum și în reducerea costurilor acestora. Procesele tehnologice au evoluat de-a lungul celor patru revoluții industriale, în prezent definindu-se pentru Industria 4.0.

Capitolul al doilea abordează într-o manieră graduală noțiuni privind ciclul de dezvoltare-producție și de viață al produselor, managementul acestuia, sistemele de tip „activitatea X asistată de computer”, precum și concepte noi folosite în industrie. Ciclul de dezvoltare și de viață al produselor a evoluat semnificativ în ultimul timp, parcurgând o serie de variante precum ar fi ingineria tradițională cu caracter secvențial al proceselor, ingineria simultană bazată pe comunicare și cu un caracter concurent și integrat al proceselor, întreprinderea digitală unde produsele și procesele sunt simulate și optimizate înaintea investițiilor în utilaje, întreprinderea virtuală și Industria 4.0. Noile tehnologii din Industria 4.0, cum ar fi Big Data, Smart Products, Internet of Things, Digital twin, Knowledge Management și Social, Mobile, Analytics, Cloud sunt de dorit de a fi implementate în software-ul de management PLM.

Capitolul trei prezintă principalele tehnologii de prelucrare convenționale pentru suprafețe cilindrice și conice exterioare și interioare, suprafețe profilate, filete și danturi, incluzând prelucrarea prin strunjire a suprafețelor exterioare de revoluție, prelucrarea prin frezare a suprafețelor exterioare de revoluție, prelucrarea prin broșare, prelucrarea arborilor

prin rectificare, procedee de netezire prin aşchiere, rectificarea alezajelor, prelucrări de netezire a alezajelor, rabotarea şi mortezarea suprafeţelor plane, frezarea suprafeţelor plane, strunjirea suprafeţelor plane, rectificarea suprafeţelor plane, netezirea suprafeţelor plane, executarea filetelor prin strunjire, rularea filetelor şi prelucrări danturi. Înţelegerea principiilor acestor tehnologii este esenţială pentru aplicarea acestora ca baza, pentru tehnologiile performante de fabricaţie, unde intervine un grad de automatizare ridicat şi conducerea numerică asistată de calculator a proceselor.

În capitolul patru sunt prezentate tehnologiile de prelucrare neconvenţionale precum, prelucrarea prin eroziune electrică, prelucrarea prin eroziune electrochimică, prelucrarea cu jet de plasmă, prelucrarea cu fascicol de electroni, prelucrarea cu laser, prelucrarea cu jet de apă şi abraziv sub presiune. Principalele avantaje ale tehnologiilor neconvenţionale sunt obţinerea unei precizii dimensionale şi a unei calităţi foarte bune a suprafeţelor şi posibilitatea prelucrărilor la nivel micro.

Capitolul cinci abordează conducerea numerică a proceselor tehnologice, tratând gradual următoarele aspecte: introducere în conducerea numerică, evoluţia conducerii numerice, fluxul informaţiilor în conducerea numerică a sistemelor tehnologice, programarea numerică manuală, programarea asistată de calculator a MUCN-urilor şi elemente de limbaj CN. Conducerea numerică a proceselor de producţie este o tehnologie avansată care poate fi aplicată în automatizarea diverselor procedee de prelucrare convenţionale şi neconvenţionale prin comanda şi controlul mişcărilor mecanice şi a operaţiilor de procesare. Un studiu de caz experimental privind prelucrarea prin frezare CNC a unei entităţi 3D dintr-o matriţă de pală de elicopter este prezentat în finalul capitolului.

În capitolul şase sunt prezentate procesele tehnologice de sinterizare a pulberilor abordând tipurile de pulberile metalice şi compactarea acestora, procese de sinterizare, postprocesarea pieselor şi aplicaţii al sinterizării. Controlului calităţii în procesele de sinterizare şi prelucrările ulterioare reprezintă o etapă importantă în obţinerea pieselor sinterizate. În finalul acestui capitol sunt prezentate o serie de rezultate ale unor cercetări experimentale în acest domeniu.

Capitolul şapte tratează cele mai importante aspecte privind controlul calităţii şi controlul statistic în procesele de fabricaţie proceselor, abordând următoarele: conceptul de calitate a produselor, definiţii şi caracteristici calitate, controlul calităţii, analiza sistemelor de măsurare, controlul statistic al proceselor, validarea proceselor de fabricaţie, monitorizarea şi măsurarea proceselor de fabricaţie. Calitatea trebuie să includă două componente principale, şi anume conformitatea cu specificaţiile prevăzute în documente şi standardele tehnice, dar şi

conformitatea cu cerințele clienților, dând în acest fel valoare produsului. Studiile de caz experimentale prezentate spre finalul acestui capitol, prezintă o serie de rezultate care au condus la optimizarea unor procese, la controlul calității și controlul statistic în procese de injectare mase plastice, în procesele de vopsitorie și gravare laser, și în procesele de asamblare și testare finală a unor produse mecatronice.

Această carte se adresează studenților, inginerilor și celor interesați de domeniu tehnologiilor avansate de fabricație. Monografia oferă informații referitoare, la sinteze și rezultate ale cercetărilor experimentale efectuate de către autori, focusate pe tehnologiile avansate de fabricație, în special a celor de îndepărtare și redistribuire de material. O altă categorie de tehnologii performante de fabricație va fi abordată de către autori într-o carte viitoare.

La elaborarea lucrării, autorii au valorificat o parte din experiența acumulată în ultimii 20 de ani în domeniul ingineriei fabricației, prin activități de cercetare, activități didactice și colaborări cu diverse companii. De asemenea, două repere esențiale pentru această lucrare îl constituie grantul de tip Platforme Laboratoare de formare și cercetare interdisciplinară, denumit PLADETINO (Platformă pentru dezvoltări tehnologice inovative), precum și grantul de tip CEEX intitulat Rețea de Fabricație Inovativă (IMAN). Aceste granturi au inițiat o parte din cercetări și au permis realizarea unei baze materiale în domeniul tehnologiilor avansate de fabricație în cadrul Departamentului de Ingineria fabricației al Universității Transilvania din Brașov. Adresăm pe această cale mulțumiri d-lui prof. dr. ing. Nicolae Valentin Ivan, directorul acestor granturi, pentru sprijinul în achiziția unor echipamente performante și sprijinul oferit în formarea noastră ca specialiști.

De asemenea mulțumim, managementului firmelor Preh Romania SRL și PMG SRL din Brașov care au permis efectuarea unor experimente științifice în cadrul secțiilor de producție.

Răzvan UDROIU
Coordonator lucrare
Brașov, octombrie 2024

CUPRINS

Prefață	3
Cuprins	7
1. Conceptul de proces tehnologic	11
1.1. Proces de producție și procese tehnologice	11
1.2. Tipuri de producție	13
1.3. Structura procesului tehnologic de prelucrare.....	20
1.4. Noțiuni privind proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare.....	21
1.5. Structuri organizatorice în care se desfășoară procese tehnologice.....	36
1.6. Considerații privind procesele tehnologice de asamblare.....	38
1.7. Concluzii privind procesele tehnologice.....	46
2. Ciclul de dezvoltare-productie și ciclul de viață al produselor având integrate tehnologii asistate de calculator	47
2.1. Diversitatea produselor actuale	47
2.2. Noțiuni privind ciclului de viață al produselor	48
2.3. Managementul ciclului de dezvoltare și de viață al produselor.....	56
2.4. Noțiuni privind sistemele de tip ”activitatea X asistata de computer” (Computer aided X).....	61
2.5. Concepte noi din industrie.....	65
2.6. Concluzii privind ciclul de dezvoltare-productie și ciclul de viață al produselor	69
3. Tehnologii de prelucrare convenționale	71
3.1. Noțiuni introductive	71
3.2. Procedee de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor de revoluție exterioare de tipul cilindrice si conice	76
3.2.1. Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor exterioare cilindrice și conice.....	76
3.2.2. Prelucrarea prin frezare a suprafețelor exterioare a arborilor.....	78
3.2.3. Prelucrarea prin broșare a suprafețelor exterioare	80

3.2.4. Prelucrarea prin rectificare a suprafețelor exterioare de revoluție..	80
3.2.5. Procedee de netezire prin aşchiere.....	84
3.3. Procedee de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor de revoluție interioare de tipul cilindrice și conice.....	84
3.3.1. Prelucrarea prin strunjire a suprafețelor interioare de revoluție.....	84
3.3.2. Prelucrarea prin burghiere, adâncire și alezare a alezajelor.....	86
3.3.3. Broșarea suprafețelor interioare.....	89
3.3.4. Rectificarea alezajelor.....	90
3.3.5. Prelucrări de netezire a alezajelor.....	91
3.4. Procedee de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor plane.....	93
3.4.1. Prelucrarea prin rabotare și mortezare a suprafețelor plane.....	93
3.4.2. Prelucrarea prin frezare a suprafețelor plane.....	96
3.4.3. Strunjirea suprafețelor plane.....	99
3.4.4. Broșarea suprafețelor plane.....	99
3.4.5. Rectificarea suprafețelor plane	100
3.4.6. Netezirea suprafețelor plane	101
3.5. Procedee de prelucrare prin aşchiere a suprafețelor profilate.....	102
3.6. Procedee de prelucrare a filetelor.....	105
3.6.1. Metode de obținere a filetelor prin strunjire.....	105
3.6.2. Filetarea cu capete de filetat.....	106
3.6.3. Rularea filetelor.....	107
3.6.4. Frezarea filetelor.....	107
3.6.5. Rectificarea filetelor cu pietre abrazive.....	108
3.7. Procedee de prelucrare prin aşchiere a roților dințate.....	109
3.8. Concluzii privind tehnologiile de prelucrare convenționale	112
4. Tehnologii de prelucrare neconvenționale	113
4.1. Necesitatea utilizării tehnologiilor neconvenționale	113
4.2. Prelucrarea prin electroeroziune	114
4.2.1. Prelucrarea prin electroeroziune cu electrod masiv.....	115
4.2.2. Tăierea prin electroeroziune cu fir.....	118
4.2.3. Prelucrarea de rectificare și filetare prin electroeroziune.....	118
4.3. Prelucrarea prin eroziune electro-chimică.....	119
4.4. Prelucrarea prin eroziune chimică.....	123

4.5. Prelucrarea sau tăierea cu jet de plasmă.....	123
4.6 Prelucrarea de metalizare prin pulverizare cu jet de plasmă.....	125
4.7. Prelucrarea cu fascicol de electroni.....	127
4.8. Prelucrarea cu ultrasunete.....	129
4.9. Prelucrarea cu laser.....	130
4.10. Prelucrarea cu jet de fluid sub presiune înaltă.....	132
4.11. Concluzii privind tehnologiile de prelucrare neconvenționale	134
5. Conducerea numerică a proceselor tehnologice	135
5.1. Introducere în conducerea numerică a sistemelor tehnologice.....	135
5.2. Evoluția conducerii numerice a MUCN-urilor.....	138
5.3. Noțiuni de bază privind conducerea numerică a MUCN-urilor	140
5.3.1 Elementele constructive ale unui MUCN	140
5.3.2. Tipuri de MUCN-uri.....	142
5.3.3. Exemplu. Sistemul de frezat CNC NovaMill.....	145
5.4. Elemente de bază privind programarea numerică a sistemelor tehnologice..	148
5.4.1. Programarea numerică manuală a MUCN-urilor.....	148
5.4.2. Programarea numerică asistată de calculator a MUCN-urilor.....	154
5.4.3. Studiu de caz privind generarea fișierelor CN.....	157
5.4.4. Elemente de limbaj MUCN (adrese N, G, X, Y, Z, T, M, F, S).....	163
5.5. Concluzii privind conducerea numerică a proceselor tehnologice	166
6. Tehnologii de prelucrare prin sinterizare a pulberilor.....	167
6.1. Noțiuni introductive privind metalurgia pulberilor	167
6.2. Fabricarea și elaborarea pulberilor metalice	172
6.3. Procese în tehnologia de prelucrare prin sinterizare	174
6.4. Aplicații ale pieselor sinterizate	178
6.5. Controlul calității în procesele de sinterizare și prelucrările ulterioare.....	180
6.6. Concluzii privind tehnologiile de prelucrare prin sinterizare a pulberilor ...	189
7. Controlul calității și controlul statistic în procesele de fabricație.....	191
7.1 Calitatea produselor – concept, definiții și caracteristici calitate	191
7.2 Abordări privind controlul calității.....	194
7.3 Analiza sistemelor de măsurare.....	197
7.4 Controlul statistic al proceselor.....	201
7.5 Validarea proceselor de fabricație.....	205

7.6 Monitorizarea și măsurarea proceselor de fabricație.....	207
7.7 Metode statistice bazate pe designul experimentelor pentru îmbunătățirea calității produselor.....	208
7.8 Studii de caz în controlul calității și controlul statistic al proceselor de fabricație.....	214
7.8.1. Controlul calității și controlul statistic în procese de injectare mase plastice.....	214
7.8.2. Controlul calității și controlul statistic în procesele de vopsitorie și gravare laser.....	220
7.8.3. Controlul calității și controlul statistic în procesele de asamblare și testare finală.....	224
7.9. Concluzii privind controlul calității și controlul statistic în procesele de fabricație	229
Bibliografie.....	230