

**Domnița FRĂȚILĂ**

# **Bazele fabricației**



**Editura UTPRESS  
Cluj-Napoca, 2019  
ISBN 978-606-737-351-6**



Editura U.T. PRESS  
Str. Observatorului nr. 34  
C.P. 42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca  
Tel.:0264-401.999  
e-mail: [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro)  
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: Ing. Călin D. Câmpean

Recenzia: Prof.dr.ing. Popa Marcel  
Ș.l.dr.ing. Coțțiu Glad

Copyright © 2019 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 978-606-737-351-6**

# PREFAȚĂ

**Bazele de fabricației** este un material conceput ca suport pentru un curs de bază în fabricație, existent în planurile de învățământ ale specializărilor din domeniul mecanic și inginerie industrială. Cea mai mare parte a conținutului cărții se referă la procesele de fabricație, dar oferă, de asemenea, informații referitoare la materiale și organizarea sistemelor de producție. Materialele, procesele de prelucrare și sistemele de producție sunt cele trei blocuri de bază ale producției moderne și prin urmare reprezintă cele trei arii de interes abordate în această carte.

Cartea este dedicată preponderent studenților de la specializarea Inginerie Industrială, pentru obiective de instruire didactică. Utilizând-o, studenții se vor familiariza cu noțiunile de bază privind procesele de fabricație și își vor antrena următoarele abilități:

- Identificarea necesității proceselor de fabricație
- Definirea prin exemple a conceptului de producție
- Clasificarea proceselor de fabricație
- Stabilirea scopurilor principale ale proceselor de prelucrare
- Definirea prin exemple a conceptului, principiilor și cerințelor principale ale fabricației
- Definirea conceptului de mașină-unelte și stabilirea principalelor funcții ale mașinilor-unelte
- Descrierea principiilor funcționale de bază ale mașinilor-unelte:
  - Ilustrarea conceptului de generatoare și directoare în realizarea formei pieselor
  - Stabilirea mișcărilor sculelor și semifabricatelor
  - Moduri de realizare a mișcărilor
- Identificarea configurației de bază a mașinilor-unelte de stat și utilizarea lor
- Exemple de mașini-unelte și specificații ale acestora

Informațiile de bază conținute în acest manual sunt prezentate într-o manieră sistematică și ușor de înțeles.

Autor

# CUPRINS

<b>CAPITOLUL 1. Fabricația. Necesitate și concept</b> .....	<b>5</b>
1.1 Ce este fabricația? .....	5
1.2 Aspecte economice la alegerea procedeelor de fabricație .....	9
1.3 Producția ca proces de adăugare de valoare .....	10
1.4 Strategii de producție .....	11
1.5 Elementele procesului de producției .....	12
1.6 Industria de prelucrare și fabricarea produselor .....	14
1.7 Volumul producției .....	14
1.8 Varietatea produselor (Nomenclatorul de fabricație) .....	15
1.9 Capabilitatea de producție .....	16
1.10 Materiale din industria prelucrătoare .....	17
<b>CAPITOLUL 2. Clasificarea generală a proceselor de fabricație</b> .....	<b>20</b>
2.1 Clasificarea proceselor de prelucrare .....	21
2.2 Procese de prelucrare .....	22
2.3 Operații de asamblare .....	26
<b>CAPITOLUL 3. Echipamente de producție și scule</b> .....	<b>28</b>
3.1 Mașini și scule .....	28
3.2 Sistemul de producție .....	29
3.3 Sisteme de producție auxiliare .....	34
<b>CAPITOLUL 4. Prelucrarea prin așchiere</b> .....	<b>36</b>
4.1 Așchiera – Scop, principiu și definiție .....	36
4.2 Cerințe la așchiere .....	37
4.3. Principiile de bază ale operațiilor de așchiere pe mașini-unelte .....	38
4.3.1 Conceptul de generatoare și directoare .....	38
4.3.2 Mișcările sculei / semifabricatului.....	39
4.3.3 Comanda mașinilor-unelte .....	42
4.4 Clasificarea pieselor prelucrate prin așchiere .....	43
4.5 Generarea și formarea geometriei piesei .....	44
4.6 Configurația mașinilor-unelte convenționale și utilizarea lor .....	46
4.6.1 Strungul.....	46
4.6.2 Mașina de rabotat transversal .....	47
4.6.3 Mașini de rabotat longitudinal .....	48
4.6.4 Mașina de găurit .....	48
4.6.5 Mașina de frezat .....	49
4.7 Specificații ale mașinilor-unelte .....	51

# CAPITOLUL 1.

## Fabricația. Necesitate și concept.

### 1.1 Ce este fabricația?

Noțiunea de fabricație derivă din două cuvinte latine **manus** (mână) și **factus** (a face), combinația rezultată însemnând "făcut manual". "Făcut manual" a descris cu precizie metodele manuale folosite până când cuvântul "fabricare" a fost inventat în jurul anului 1567. În zilele noastre procesele de producție moderne sunt realizate pe mașini automate și controlate de computere, doar acestea fiind programate și supravegheate de operatorul uman. Fabricația este importantă din mai multe puncte de vedere, cum ar fi: **tehnologic, economic și istoric.**

#### • din punct de vedere tehnologic

Tehnologia poate fi definită ca aplicarea științei pentru a oferi societății și membrilor săi acele obiecte/produse care sunt necesare sau dorite. Aceasta oferă produse care ajută societatea și membrii săi să trăiască mai bine. Ceea ce aceste produse au în comun este că acestea sunt toate fabricate. Astfel, fabricația este factor esențial care sprijină tehnologia.

#### • din punct de vedere economic

Fabricația este un mijloc prin care o națiune creează bunăstare materială. În SUA fabricația contribuie cu  $\approx 20\%$  la produsul intern brut (PIB), figura 1.1.

<b>Economia USA</b>	
Sector	% PIB
Procese de fabricație	20%
Agricultură, etc.	5%
Construcții și utilități publice	5%
Servicii – vânzări, transport, servicii bancare, comunicații, educație, administrație	70%

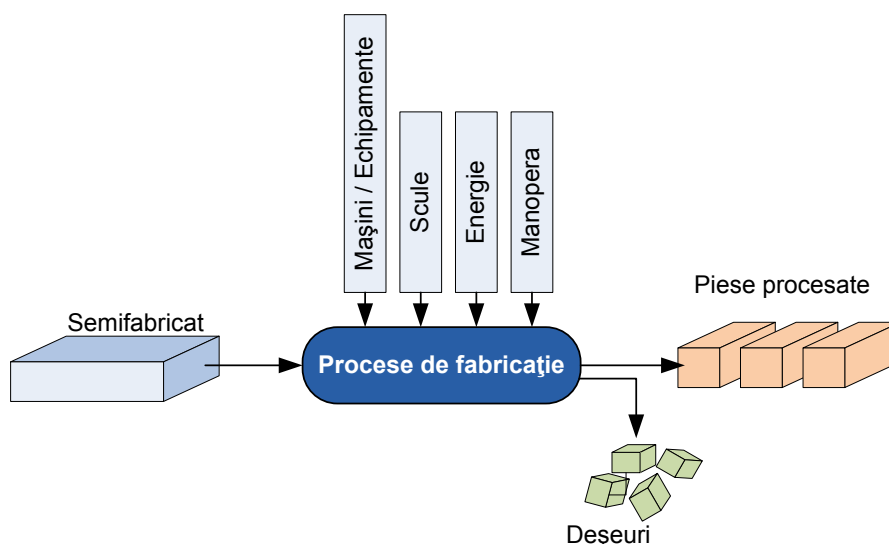
**Figura 1.1** Contribuția fabricației la PIB (în SUA) [GRO 10]

#### • din punct de vedere istoric

Punct de vedere istoric, importanța de fabricației în dezvoltarea civilizației este de obicei subestimată. De-a lungul istoriei, culturile care au fost mai inovative în realizarea produselor au avut mai mult succes. Efectuarea de unelte mai bune a însemnat meserii mai bune și posibilitatea fabricării de arme:

- meseriile mai bune au permis oamenilor să trăiască mai bine
- armele mai performante le-au permis să cucerească alte culturi, în perioade de conflict.

Ca domeniu de studiu, **fabricația** poate fi definită în două moduri, unul **tehnologic** și celălalt **economic**. Tehnologic, **fabricația** reprezintă aplicarea de **proces fizice și chimice** pentru a modifica **geometria, proprietățile și/sau aspectul** unui material de pornire (semifabricat) pentru a realiza **piese sau produse**; fabricația include, de asemenea, **asamblarea** mai multor piese pentru a obține produse. Fabricația este aproape întotdeauna efectuată ca o **secvență de operații**.



**Figura 1.2** Fabricația ca proces tehnic

Procesul de fabricație implică utilizarea unei combinații de **materiale, mașini, scule, echipamente, energie și manoperă**, așa cum este indicat în figura 1.2. Fiecare operație aduce materialul mai aproape de forma finală dorită.

**Progresul și prosperitatea** civilizației umane sunt **gouvernate și judecate** în special prin îmbunătățirea și menținerea nivelului de trai, prin disponibilitatea sau producția de bunuri și servicii în cantități mari și de calitate corespunzătoare pentru **bunăstarea materială a oamenilor (MMW)**, din toate punctele de vedere: locuințe, îmbrăcăminte, medicină, educație, transport, comunicare și, de asemenea, divertisment. Crearea cu succes a MMW depinde în principal de :

- disponibilitatea **resurselor naturale (NR)**
- utilizarea de **efort uman (HE)**, atât **fizic** cât și **intelectual**
- dezvoltarea și utilizarea de **mașini și echipamente performante (INSTRUMENTE)**

Acest lucru poate fi descris într-o ecuație simplă,

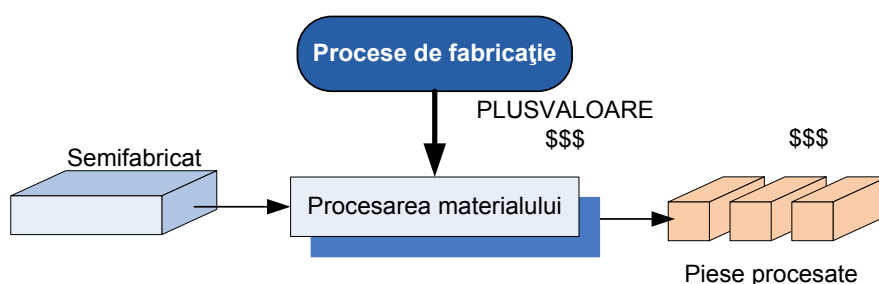
$$MMW = NR \cdot (HE)^{INSTRUMENTE} \quad (1)$$

unde NR referă la aer, apă, căldură și lumină, plante, animale și resurse minerale solide și lichide; INSTRUMENTE se referă la centrale electrice, uzine chimice, complexe siderurgice, mașini-unelte, echipamente, scule etc., care măresc capacitatea umană de a realiza produse performante.

Ecuația (1) indică în mod clar rolurile importante pe care componentele NR, HE și INSTRUMENTE le au în realizarea MMW și în progresul civilizației.

**Producția și fabricația** pot fi definite simplu ca **proces de plus valoare** prin care **materiile prime cu utilitate și valoare reduse** (din cauza proprietăților lor fizice inadecvate, a dimensiunilor și finisajelor necorespunzătoare sau a formei neregulate) sunt transformate în **produse valoroase și de mare utilitate** (cu dimensiuni precise, forme regulate și finisaje de calitate), caracteristici necesare ce le conferă totodată și **capacitate funcțională**. Un exemplu tipic de fabricație este prezentat schematic în figura 1.3.

O bucată de oțel de formă neregulată, dimensiuni imprecise și calitate redusă a suprafeței, care nu a avut aproape nici o utilitate și valoare, a fost transformată într-un produs util și valoros (de ex un șurub) printr-un proces de fabricație care îi asigură caracteristici adecvate, precizie dimensională și calitate a suprafeței, necesare pentru îndeplinirea unora dintre caracteristicile funcționale finale.



**Figura 1.3** Fabricația ca proces economic – Adăugarea de valoare prin fabricație

**Fabricația** reprezintă transformarea materialelor în produse de valoare mai mare cu ajutorul **uneia** sau mai **multor operații de prelucrare** și/sau de **asamblare**, așa cum se arată în figura 1.2. Fabricația **adaugă valoare** materialul prin schimbarea formei sau a proprietăților sale, sau prin combinarea cu alte materiale care au fost prelucrate similar. Materialul devine mai valoros prin operațiile de fabricație executate asupra sa. **Fabricația și producția** sunt cuvinte folosite adesea alternativ, dar producția are un sens mai larg decât fabricația.

Ingineria producției acoperă două domenii vaste:

- (a) **Procesele de producție sau de fabricație**
- (b) **Managementul producției.**

(a) **Procesele de fabricație**

Acestea se referă la știința și tehnologia de fabricare a produselor în mod **efectiv, eficient, economic și ecologic**, prin:

- aplicarea oricărui proces și/sau sistem de producție existent;
- alegerea corectă a materialelor de intrare (semifabricate), sculelor, echipamentelor, mașinilor și a mediilor de lucru;
- îmbunătățirea materialelor și proceselor existente;
- dezvoltarea de noi materiale, sisteme, procese și tehnici.

Toate aceste procese de producție, sisteme, tehnici trebuie să fie:

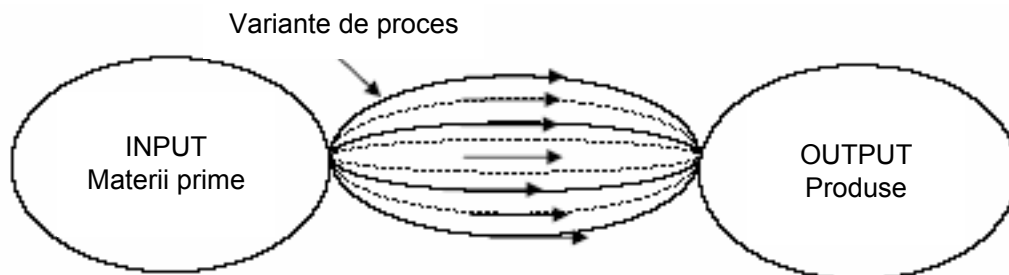
- acceptate din punct de vedere tehnic
- realizabile din punct de vedere tehnologic
- viabile din punct de vedere economic
- prietenoase pentru mediul înconjurător

Știința fabricației și tehnologia înregistrează o creștere exponențială pentru a răspunde cerințelor tot mai mari pentru:

- creșterea și menținerea productivității, calității și a eficienței economice în special în ceea ce privește liberalizarea și competitivitatea globală
- fabricarea de componente micro- și ultraprecise pentru electronică, computere și aplicații medicale
- prelucrarea materialelor noi, apărute odată cu dezvoltarea rapidă și vastă a științei și tehnologiei în domeniul aerospațial și nuclear.

#### (b) Managementul producției

Managementul producției este, de asemenea, la fel de important și esențial în domeniul fabricației. Acesta se referă în principal la **planificarea, coordonarea și controlul** întregului proces de fabricație în modul cel mai profitabil, cu satisfacție maximă pentru clienții, cu cea mai bună utilizare a resurselor disponibile (umane, materiale și financiare). Fabricarea unui produs poate fi posibilă din anumite materiale și la configurația dorită prin mai multe procese sau prin diferite variante tehnologice așa cum este indicat schematic în figura 1.4.



**Figura 1.4** Posibilitatea fabricației unui produs prin diferite variante tehnologice

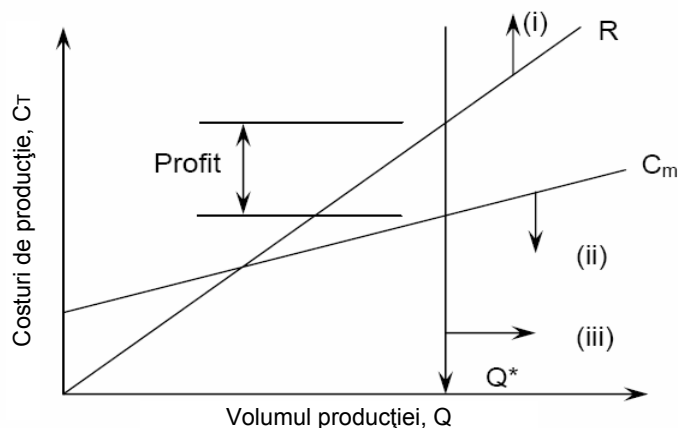
Diversele variante de proces pot fi diferite în ceea ce privește **principiul, tehnica, calitatea produselor, durata prelucrării și costul de fabricație**. Cel mai indicat este ca selecția să se facă pe baza unor criterii bine definite. Atingerea scopului fabricației necesită îndeplinirea unuia sau mai multora dintre următoarele obiective:

- reducerea timpului de fabricație
- creșterea productivității
- reducerea costurilor de producție
- creșterea ratei de profit sau a profitului



După cum se arată în figura 1.5, obiectivul final cel mai important, de exemplu creșterea profitului  $P_r$ , poate fi obținută prin:

- (i) creșterea veniturilor,  $R$  prin creșterea calității și a fiabilității produselor
- (ii) reducerea costurilor globale de producție,  $C_m$
- (iii) creșterea producției vandabile.



**Figura 1.5** Strategii de creștere a profitului [GRO 07]

Managementul producției integrează și îndeplinește toate aceste activități esențiale, ceea ce duce la beneficii maxime printr-o utilizare eficientă a **resurselor și strategiilor**.

## 1.2 Aspecte economice la alegerea procedeeleor de fabricație

În multe situații există posibilitatea prelucrării unui anumit semifabricat prin diferite procedee de fabricație. Apare astfel necesitatea de a alege acele procese de fabricație care permit cea mai mare eficiență economică (consumuri reduse, utilitate maximă) luând în considerare numeroase criterii și condițiile limită concrete.

La alegerea proceselor de fabricație este important să se aibă în vedere ansamblul proceselor de prelucrare până la obținerea piesei finite. Un proces de fabricație, care individual este apreciat ca nefavorabil, poate ca urmare a numărului redus de operații de prelucrare să fie eficient în cazul producției de masă. Un exemplu în acest sens este prezentat în figura 1.6.

Economicitatea unui process este apreciată de regulă prin metodele calculului costurilor și a eficienței financiare. Criteriile necuantificabile pot fi avute în vedere prin analiza valorii utile. Influența elementelor de nesiguranță a condițiilor limită (de ex. prețul materiilor prime, prețul de vânzare, creșterea producției etc) trebuie evaluată prin analiza riscurilor și a instabilității.

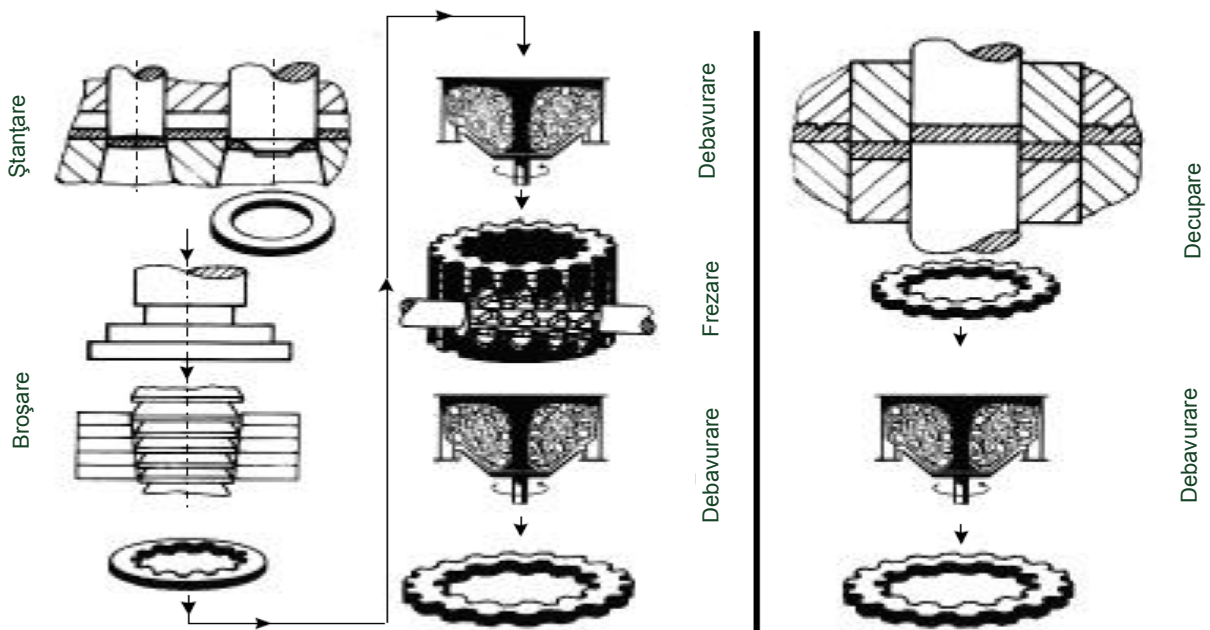


Figura 1.6 Compararea variantelor de fabricație la prelucrarea unei roți dințate [AWI www]

### 1.3 Producția ca proces de adăugare de valoare

Producția este un proces de creștere a valorii. Adăugarea de valoare apare în cazul fiecărui sistem de producție individual, dacă din semifabricate simple sau complexe este fabricat un produs de valoare (Figura 1.7). Din lanțul de adăugare a valorii fac parte **fabrici, departamente și persoane**. Nu toate acțiunile asupra pieselor se desfășoară în același loc. În multe domenii industriale are loc o distribuție a activităților, astfel că elemente individuale ale lanțului de creare a valorii își desfășoară activitățile în locații din țări diferite și în domenii industriale diverse.

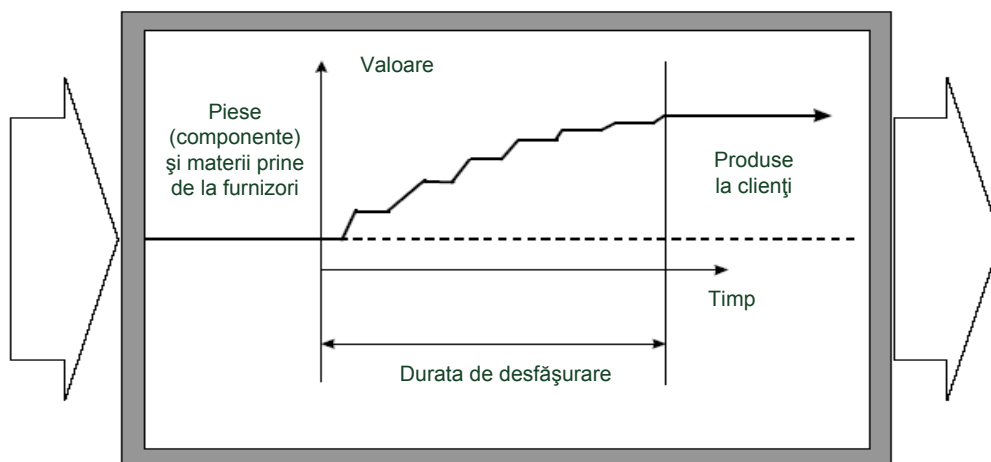


Figura 1.7 Producția ca proces de creștere a valorii [WES 01]

Pe termen lung întreprinderile își urmează scopul de obținere a profitului. Adăugarea de valoare poate fi obținută numai dacă scopul este atins în raport cu următoarele aspecte: **timp, costuri, calitate**.

Numărul mare de etape individuale ale producției necesită un anumit timp pentru a putea fi realizate. Cu cât aceste etape sunt parcurse mai repede cu atât poate fi realizată creșterea valorii utilizând resursele de fabricație disponibile. Prin luarea unor măsuri corespunzătoare (de ex. un nivel mai înalt de automatizare) procesul de creștere a valorii poate fi accelerat. Cerința generală a reducerii costurilor poate fi îndeplinită prin o formulare alternativă a principiului eficienței. Calitatea produsului și prin aceasta satisfacția clienților sunt factori decisivi ai competitivității. Acestea se manifestă prin rate scăzute de rebut și funcționalitate, eficiență și durată de viață extinsă a produselor fabricate.

## 1.4 Strategii de producție

Un scop frecvent al întreprinderilor este asigurarea continuității producției și prin aceasta asigurarea competitivității pe piață. Stabilirea scopurilor întreprinderilor se realizează prin intermediul planificării strategice. Acestea se orientează asupra piețelor viitoare, cerințelor viitoarelor produse și strategiilor de asigurare a succesului. Strategia întreprinderii trebuie să se bazeze pe strategiile individuale ale firmelor componente prin propriile strategii funcționale, strategia de piață, strategia de produs, strategia de producție.

Forța unei întreprinderi se apreciază prin evoluția sa înainte și după poziționarea cu succes a produsului pe piață, care depinde de potențialul tehnologiilor disponibile. Tehnologiile de producție au nu numai rolul de facilita fabricația produsului, ci au și un potențial de a influența competitivitatea. Neglijarea dezvoltării unei strategii de producție poate să conducă la utilizarea incompletă a posibilităților și a potențialului de producție în dezvoltarea produsului, iar sinergiile tehnologice să fie cunoscute prea târziu.

În continuare este necesară o sincronizare a dezvoltării producției cu dezvoltarea produsului. Sincronizarea este importantă atunci când modificările tehnologiilor sunt preluate în procesul de producție determinând modificarea structurii acesteia. O metodologie de planificare strategică a măsurilor pentru procesul de producție este prezentată în figura 1.8.

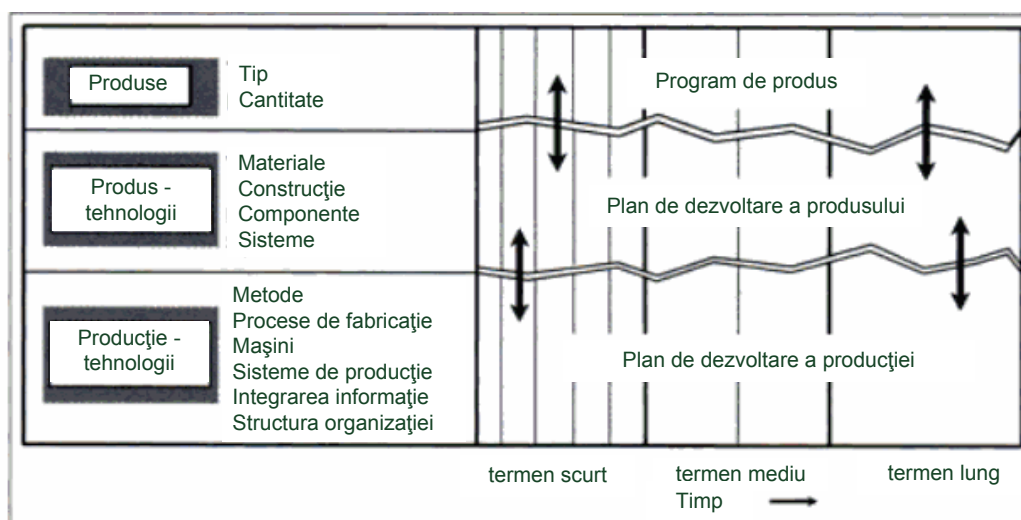


Figura 1.8 Planificarea producției [WES 01]

În funcție de momentele de lansare individuală în producție a produselor, planificarea fabricației corelează fazele dezvoltării produsului cu fazele dezvoltării tehnologiilor de producție. Măsurile adoptate au efect pe termen mediu sau lung și au o influență considerabilă asupra capacităților de producție, gradul de ocupare al personalului și calificarea necesară a personalului. Aceasta necesită o disponibilitate a investițiilor pentru dezvoltare tehnică, mașini și sisteme.

## 1.5 Elementele procesului de producție

Din punct de vedere al realizării produsului în cadrul sistemului de producție se diferențiază următoarele sisteme unitare **aprovizionare, producție, vânzări (distribuție)** ca și domeniile de planificare, realizare și control.

Sistemul de producție (Figura 1.9) începe cu etapa de **dezvoltare**. Aceasta se realizează în urma unui studiu ale pieței, care analizează situația pieței, și cuprinde de asemenea solicitările și dorințele clienților. Stabilirea stadiului actual al științei și tehnicii clarifică dacă sunt necesare cercetări și studii. Definirea produsului se realizează într-un caiet de sarcini tehnico-economice care conține funcțiunile, cerințele, calitatea, prețul și alte condiții limită. **Proiectarea** se referă la modelul produsului, alegerea materialului, proiectarea constructivă și tehnologică a semifabricatului și are o influență decisivă asupra eficienței întregului process de producție.

**Planificarea producției** este responsabilă pentru pregătirea la timp a tuturor echipamentelor necesare pentru producție. **Aprovizionarea** asigură componentele necesare, materialele, mijloacele și materialele de fabricație și energia. În pregătirea muncii se aleg procesele de fabricație pentru prelucrarea unei piese și este elaborată documentația tehnologică (planuri de lucru). Planificarea muncii (planificarea și conducerea producției) garantează un flux al informațiilor și al materialelor fără disfuncționalități.

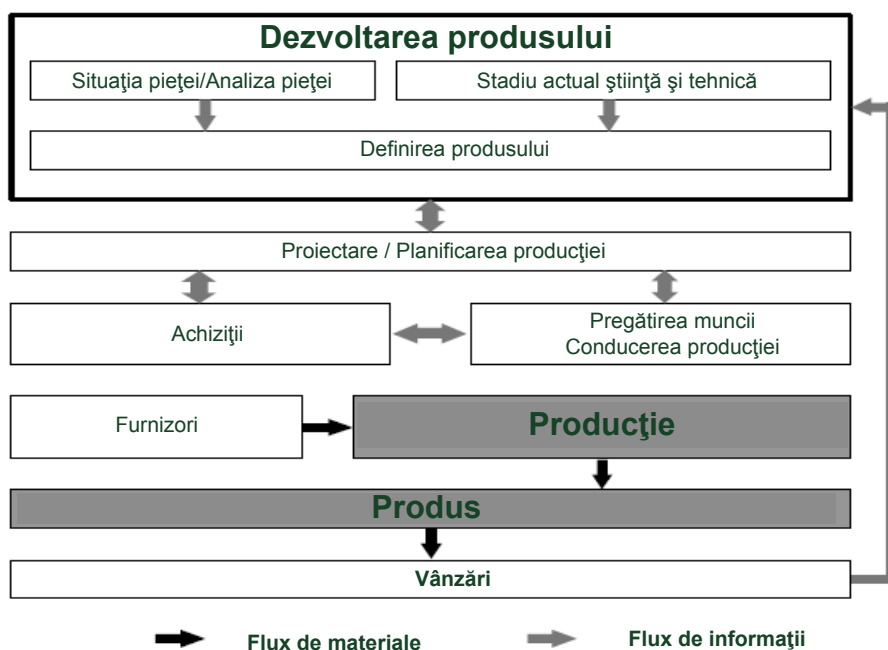


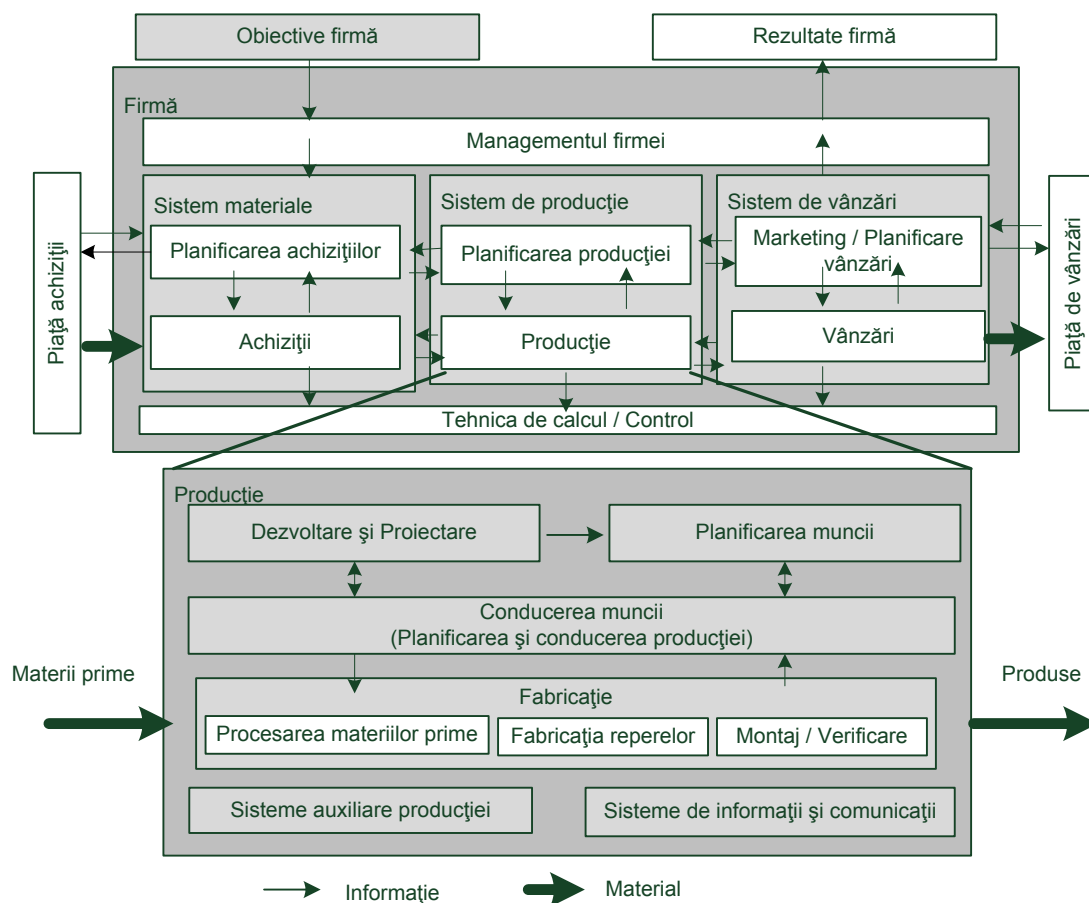
Figura 1.9 Reprezentarea schematică a procesului de producție [AWI www]

**Procesarea primară a materialelor** cuprinde toate procesele tehnice prin care se realizează modificarea fizică și chimică a unor materiale fără o formă geometrică, punând astfel la dispoziție materiale pentru fabricație (procesare).

**Producția (Fabricația)** în sens restrâns cuprinde prelucrarea reperelor (pieselor), montajul și verificarea pieselor. Prin fabricație fiecare reper ajunge la forma geometrică dorită și are proprietățile prescrise, de exemplu rezistență și structură (stare) a suprafeței. Piesele astfel prelucrate vor fi asamblate în cadrul operațiilor de montaj sub forma de produse sau subansabluri complexe. Pașii unitari de prelucrare și montaj sunt considerați etape ale producției. Alte servicii auxiliare asigură buna desfășurare a procesului de producție. Din această categorie fac parte logistica internă a firmei și serviciile de mentenanță.

În sfârșit **vânzările** preiau activitățile de livrare a produselor către clienți. Prin interacțiunea cu clienții, serviciul de marketing furnizează informații importante pentru dezvoltarea produsului.

Scopul procesului de producție este transformarea materiilor prime și a semifabricatelor în piese finite sau produse prin utilizarea resurselor de producție disponibile (Figura 1.10).



**Figura 1.10** Elementele unui sistem de producție [WES 01]

Pentru desfășurarea acestui proces trebuie să fie disponibile spații adecvate, resurse energetice și informații. Materiile prime și semifabricatele sunt transformate direct în produse împreună cu factorii informații și energie. Factorii de producție care participă nemijlocit la procesul de producție sunt mijloacele de producție și

mijloacele de fabricație ca și instrumentele de măsură și control și echipamentele de transport și stocare. Pentru utilizarea acestora se folosește personal calificat corespunzător.

## 1.6 Industria de prelucrare și fabricarea produselor

Fabricația este o activitate industrială importantă. Tipul de fabricație realizat de o companie depinde de tipurile de produse pe care le realizează. De exemplu, fabricația constă dintr-o activitate comercială în cazul companiilor care vând produse către clienți.

Industria în general este formată din întreprinderi și organizații care produc sau furnizează bunuri și servicii. Industriile pot fi clasificate ca:

**1. Industriile primare**, care se ocupă cu crearea și exploatarea resurselor naturale, de exemplu: agricultura și minerit;

**2. Industriile secundare** utilizează produsele rezultate din industriile primare și le transformă în bunuri de consum și de capital, fabricația fiind activitatea principală;

**3. Industriile terțiare** constituie sectorul de servicii al economiei.

Cea mai mare parte a industriilor secundare sunt specifice companiilor care desfășoară activități de producție, altele se referă la domeniul construcțiilor și generarea de energie electrică. Cu toate acestea, fabricația include mai multe industrii ale căror tehnologii de producție nu sunt subiectul acestui curs, de exemplu, îmbrăcăminte, băuturi, produse chimice și prelucrarea produselor alimentare. Din punct de vedere al disciplinei *Bazele fabricației*, fabricația înseamnă producția de produse industriale, care variază de la piese simple (de ex. bolțuri și șuruburi) până la produse complexe (de ex. mașini-unelte, aparate electrocasnice) incluzând piese confecționate din lemn, precum și produse din plastic sau materiale ceramice.

**Produsele finale (produsele fabricate)** realizate de industriile enumerate anterior pot fi împărțite în două categorii principale: **bunuri de consum** și **bunuri de capital**. **Bunurile de larg consum** sunt produse achiziționate direct de către consumatori (de ex.: autoturisme, televizoare, mingi, etc). **Bunurile de capital** sunt acele produse achiziționate de companii pentru a produce la rândul lor bunuri de consum sau pentru a furniza servicii (de ex. aeronave, echipamente de cale ferată, mașini-unelte, echipamente de construcții, etc).

Alte produse fabricate includ **materiale**, **componente** și **consumabile** utilizate pentru realizarea produselor finale. Exemple de astfel de elemente sunt: tabla de oțel, bare metalice, piese componente prelucrate, piese turnate și/sau extrudate, scule, matrițe și lubrifianți. Astfel, industria prelucrătoare constă dintr-o infrastructură complexă cu diferite categorii și nivele de furnizorii intermediari cu care clientul final nu interacționează.

## 1.7 Volumul producției

Cantitatea de produse **Q** realizate de o fabrică are o influență importantă asupra modului în care **angajații săi, echipamentele, activitățile și procedurile** sunt organizate. Volumul anual al producției poate fi clasificat în trei categorii (Tabelul 1.1).

Tabelul 1.1

Tipul producției	Cantitatea anuală de produse, $Q$
Producția de serie mică sau unicate	1 - 100 unități (bucăți)
Producția de serie	100 - 10000 unități
Producția de masă	10.000 la milioane de unități

Limitele dintre aceste trei domenii sunt oarecum arbitrare. În funcție de tipurile de produse fabricate, aceste limite se pot schimba cu un ordin de mărime. Cantitatea de produse se referă la numărul de unități (bucăți) produse anual dintr-un anumit tip de produs. Unele fabrici produc o varietate de tipuri de produse diferite (nomenclator de fabricație mare), fiecare tip de produs fiind prelucrat în cantități mici sau medii. Alte fabrici sunt specializate în fabricarea unui singur tip de produs. Este instructiv și util să se identifice tipul produsului fabricat ca un parametru distinct de volumul producției.

### 1.8 Varietatea produselor (Nomenclatorul de fabricație)

Varietatea produselor  $P$ , se referă la diferitele tipuri de produse fabricate într-o fabrică. Varietatea de produse este distinctă de volumul producției. Produsele diferite au diferite forme și dimensiuni, ele sunt destinate pentru diferite piețe, unele au mai multe componente decât altele.

Numărul de tipuri diferite de produse realizate în fiecare an într-o fabrică poate fi cuantificat. În cazul în care numărul de tipuri de produse realizate în fabrică este mare, aceasta indică varietate mare de produse.

Între varietatea produselor  $P$  și volumul producției (cantitatea de produse)  $Q$  la nivelul unui fabrici există o corelație inversă, așa cum este descris în figura 1.11. Dacă într-o fabrică  $P$  este mare, atunci  $Q$  este probabil să fie scăzut, iar în cazul în care  $Q$  este mare, atunci se presupune că  $P$  ar trebui să fie scăzut.

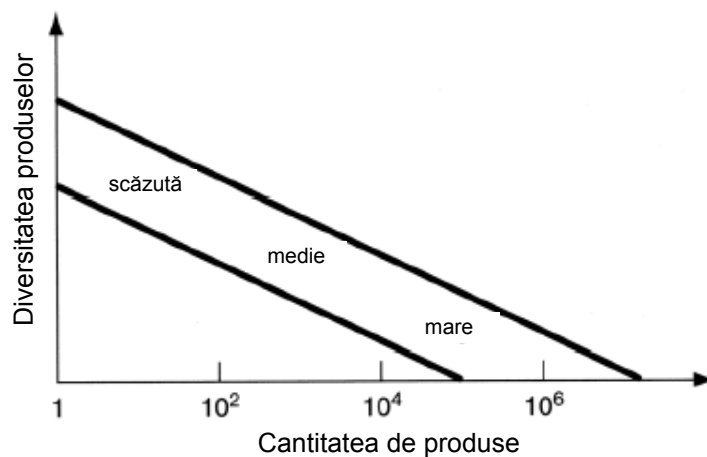


Figura 1.11 Relația dintre varietate produselor și volumul producției [GRO 10]

Deși  $P$  este un parametru cantitativ, este puțin exact pentru că nu conține detalii cu privire la diferențele de design ale diferitelor produse fabricate. Acest aspect nu este reflectat de numărul de tipuri diferite de produse. Se întâlnesc în practică două situații:

- **varietate redusă a produselor** - mici diferențe între produse, de exemplu, diferențele dintre modelele de autoturisme fabricate pe aceeași linie de producție, în cazul în care există modelele au un număr mare de componente comune.
- **varietate mare a produselor** - produsele diferă substanțial și au puține componente (piese) comune, de exemplu, diferența dintre un autoturism și un camion.

## 1.9 Capabilitatea de producție

O fabrică a cărei activitate este axată pe producție este constituită dintr-un set de **processe, sisteme și resurse umane**, concepute pentru a transforma o serie de materiale în produse cu valoare superioară. Cele trei elemente de bază - **materiale, procese și sisteme** reprezintă esența sistemelor de producție moderne. Capabilitatea fabricației include:

- **capacitatea de procesare tehnologică**
- **limitări fizice**
- **capacitatea de producție.**

▪ **Capacitatea de procesare tehnologică** ar putea fi descrisă ca un **set de procese de producție** disponibile în fabrica sau compania respectivă. Anumite procese de fabricație sunt potrivite pentru prelucrarea anumitor materiale. Asta înseamnă că prin specializarea pe anumite procese, fabrica este, de asemenea, specializată în procesarea anumitor tipuri de materiale. Capacitatea de procesare tehnologică include nu doar procesele fizice ci și expertiza personalului fabricii.

▪ **Limitările fizice** ale produsului. Un al doilea aspect al capabilității de producție este impus de produsul fizic. O fabrică, care dispune de un anumit set de procese, este limitată în ceea ce privește mărimea și greutatea pieselor sau produselor care pot fi prelucrate. Forma, dimensiunile și greutatea produsului influențează:

- *Echipamentele de producție*

- *Echipamentele de manipulare și transport al pieselor (de ex. stivuitoare).*

Echipamentele de producție și cele de manipulare a materialelor și pieselor, cât și dimensiunea fabricii trebuie să fie planificate pentru prelucrarea unei anumite **game produse**, care se încadrează între anumite limite din punct de vedere al dimensiunilor și al greutății.

▪ **Capacitatea de producție.** O a treia limitare în ceea ce privește capabilitatea de producție a unei firme este capacitatea de producție, mai exact cantitatea de produse care pot fi fabricate, într-o perioadă de timp dată (de exemplu, o lună sau un an). Denumită de obicei capacitatea fabricii sau capacitate de producție, aceasta noțiune este definită ca rata maximă de producție pe care o fabrică o poate realiza în **condiții de funcționare** asumate.

**Condițiile de funcționare** se referă la numărul de schimburi pe săptămână, numărul de ore pe schimb, numărul minim de personal, etc. Acești factori reprezintă parametri de intrare ai fabricii. Capacitatea fabricii este, de obicei, măsurată în **unități de producție**, cum ar fi de tone de oțel sau de numărul de piese/bucăți produse. În aceste cazuri, parametrii de ieșire sunt mărimi omogene. În cazul în care aceste



rezultate nu sunt omogene, alți factori pot fi mai potriviți ca unități de măsură în evaluarea capacității de producție, cum ar fi număr de ore de muncă disponibile pentru funcționare pentru mașinile existente într-o secție a fabricii în care se produce o varietate de piese.

## 1.10 Materiale din industria prelucrătoare

Majoritatea materialelor utilizate în industria prelucrătoare pot fi clasificate în una din următoarele trei categorii de bază (Figura 1.12):

### 1. Metale

### 2. Materiale ceramice

### 3. Polimeri

Atât compozițiile chimice ale acestora cât și proprietățile lor mecanice și fizice sunt diferite, iar aceste diferențe influențează procesele de fabricație prin care aceste materiale pot fi prelucrate. Suplimentar față de cele trei categorii de bază, există, de asemenea o a patra categorie:

### 4. Materiale compozite – combinații neomogene ale celorlalte trei tipuri de bază

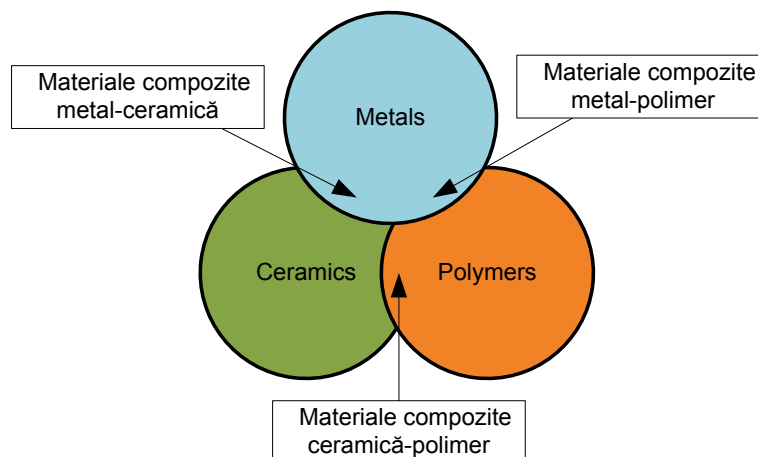


Figura 1.12 Diagrama celor trei tipuri de materiale de bază și materiale compozite [GRO 07]

**1. Metalele**, folosite în procesul de fabricație, sunt de obicei compuse din două sau mai multe elemente, dintre care cel puțin unul este metalic. Există două **grupe de bază**:

**1.1 Metale feroase** sunt materiale metalice pe bază de fier, această categorie include oțelurile și fontele. Din punct de vedere comercial aceste metale constituie cel mai important grup și cuprind  $\approx 75\%$  din cantitatea de metal utilizată în plan mondial. Fierul pur are o utilizare limitată, dar atunci când este aliat cu carbonul, fierul are mai multe utilizări și o mai mare valoare comercială decât orice alt metal. Astfel aliajele fierului cu carbonul sunt **fontele și oțelurile**.

**Oțelurile** pot fi definite ca aliaje fier-carbon care conțin **0,02-2,11 % C**. Este mai importantă categorie în cadrul grupului metalelor feroase. Compoziția lor include adesea alte elemente de aliere, cum ar fi mangan, crom, nichel și molibden, pentru a îmbunătăți proprietățile aliajului rezultat.

**Fonta** este un aliaj cu un conținut de **2 % la 4,5 % C** folosit în turnare. Alte elemente sunt adesea adăugate pentru a obține proprietățile dorite ale piesei turnate. Fonta este disponibilă în mai multe forme diferite, dintre care fonta cenușie este cea mai economică.

**1.2 Metale neferoase** includ toate celelalte elemente metalice și aliaje ale acestora: aluminiu, cupru, aur, magneziu, nichel, argint, titan, zinc, etc. În aproape toate cazurile, aliajele sunt mai importante comercial decât metalele respective în stare pură.

**2. Materiale nemetalice** se clasifică în materiale nemetalice organice și anorganice

**Materialele ceramice** sunt compuși (amestecuri) conținând elemente metalice (sau semimetalice) și elemente nemetalice. Materialele ceramice au o structură cristalină sau semicristalină. De regulă se obțin la temperatura ambientală dintr-o masă de bază, proprietățile lor fiind obținute prin tratare termică la temperaturi peste 800°C.

Elemente nemetalice tipice sunt **oxigen, azot și carbon**. Materialele ceramice tradiționale includ: **argila** (formată din particule fine de silicați de aluminiu), **siliciu** (baza pentru aproape toate produsele din sticlă), **alumină și carbura de siliciu**. Materialele ceramice noi includ **carburi** (carburi metalice), cum ar fi **carbura de tungsten și carbura de titan**, care sunt utilizate pe scară largă ca materiale pentru scule așchietoare și **nitruri** (metalice și semimetalice) cum ar fi de **nitrura de titan și nitrura de bor**, folosite ca materiale de scule și ca materiale abrazive.

În scopul prelucrării, materialele ceramice se împart în:

**2.1 Materiale ceramice cristaline** includ:

- materiale ceramice tradiționale, cum ar fi argila (silicați de aluminiu)
- materiale ceramice moderne, cum ar fi alumina ( $Al_2O_3$ )

**2.2 Sticlă** – de regulă pe bază de siliciu ( $SiO_2$ )

**3. Polimerii** sunt compuși formați din repetarea unor unități structurale numite meri, ale căror atomi schimbă electroni pentru a forma molecule foarte mari. Ei sunt produși sintetic pe baza unor reacții chimice sau prin transformarea unor produse naturale. Domeniul vast de aplicabilitate se datorează în primul rând costurilor reduse de procesare. Prelucrarea lor se poate face la temperaturi reduse, putându-se obține forme geometrice complexe, de obicei într-o singură operație (de cele mai multe ori nu mai sunt necesare prelucrări ulterioare sau foarte puține). Pentru procesarea lor sunt necesare scule cu geometrie complicată, dar acestea se amortizează în cazul prelucrării unui număr mare de produse. Există trei categorii:

**3.1 Polimeri termoplastici** - pot fi supuși unor cicluri multiple de încălzire și răcire fără a fi alterată structura lor moleculară (ex: polietilenă, polistiren, policlorură de vinil și nylon).

**3.2 Polimeri termorigizi.** Moleculele lor se transforma chimic (solidificare) prin răcire, de la o stare de plastic încălzit într-o structură rigidă (ex: fenoli, amino rășini, rășini epoxidice).

**3.3 Elastomerii** prezintă un comportament elastic semnificativ. Această categorie include: cauciucul natural, neoprenul, siliconul și poliuretan.

**4. Materialele compozite** sunt materiale formate din două sau mai multe faze (fibre și matrice), care sunt procesate separat și apoi contopite pentru a obține materiale cu proprietăți superioare celor ale elementelor lor constitutive.

Se urmărește în primul rând o rezistență ridicată la densitate mică, rezistență la coroziune și stabilitate termică. În prezent cele mai utilizate sunt fibrele **de sticlă și cele de carbon**. În anumite domenii se folosesc frecvent și **fibre de polimeri**, de **bor** sau din **materiale ceramice**. Pentru asigurarea unei rezistențe ridicate este important ca moleculele respectiv cristalele din fibre să fie orientate pe direcția pe care materialul este sollicitat.

În timp ce **fibrele** asigură **rezistența și rigiditatea** materialului compozit, **matricea** conferă **ductilitatea** materialului. Hotărâtor pentru alegerea materialului matricei este, în primul rând, **temperatura de procesare**. La temperaturi de până la **200° C** se folosește o **matrice de polimer**. Acesta poate fi un material termoplast sau termorigid. La **temperaturi mai mari** se folosește o matrice din **metale ușoare**, de obicei aliaje de aluminiu. Pentru **temperaturi foarte mari** se recomandă o matrice din **materiale ceramice** (de ex. carbură de siliciu, oxid de aluminiu) sau o matrice de **carbon** (carbon amorf până la 2500° C).

Unele materiale compozite combină proprietăți ca rezistența ridicată și greutate redusă, fiind utilizate pentru fabricarea unor componente în industria aeronautică, caroserii sau rachete de tenis. Alte materiale compozite sunt dure și își mențin aceste proprietăți la temperaturi ridicate (metale dure pentru confecționarea sculelor așchietoare).

# CAPITOLUL 2.

## Clasificarea generală a proceselor de fabricație

Este extrem de dificil de specificat numărul exact de procese de fabricație diferite existente, care sunt practicate în prezent pentru că până acum a fost dezvoltat un număr spectaculos de mare de procese. Numărul lor este în creștere exponențială datorită cererilor pieței și progreselor rapide în domeniul științei și tehnologiei. În practică, există două tipuri de procese de fabricație (Figura 2.1):

- Operații de prelucrare** prin care se transformă un material de lucru (semifabricat) de la o stare de procesare la o stare mai avansată. Aceste operații adaugă valoare prin schimbarea **geometriei**, **proprietăților** sau a **aspectului** materiei prime. În general operațiile de prelucrare sunt efectuate pe semifabricate distincte, dar unele operații de prelucrare sunt aplicabile, de asemenea, unor reperi asamblate.
- Operații de asamblare** prin care se alătură două sau mai multe componente, în scopul de a crea o nouă entitate numită **ansamblu** sau **subansamblu**, sau alți termeni care se referă la procesul de asamblare.

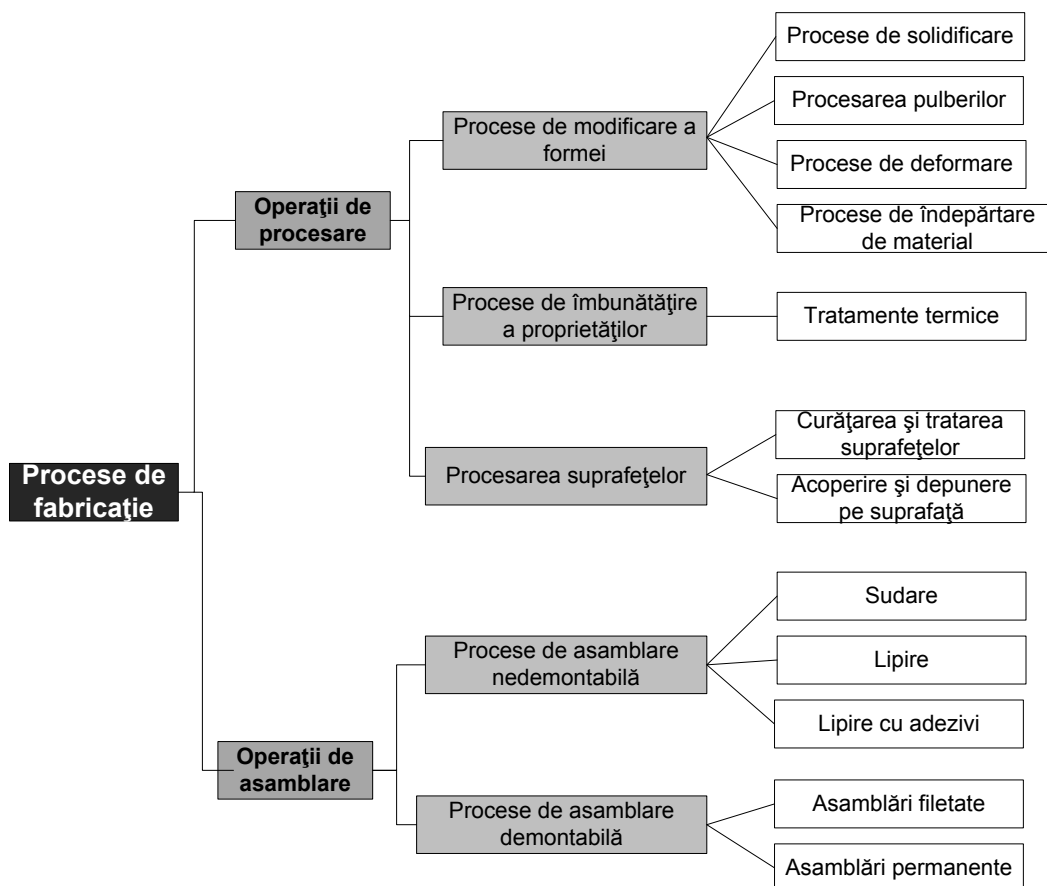
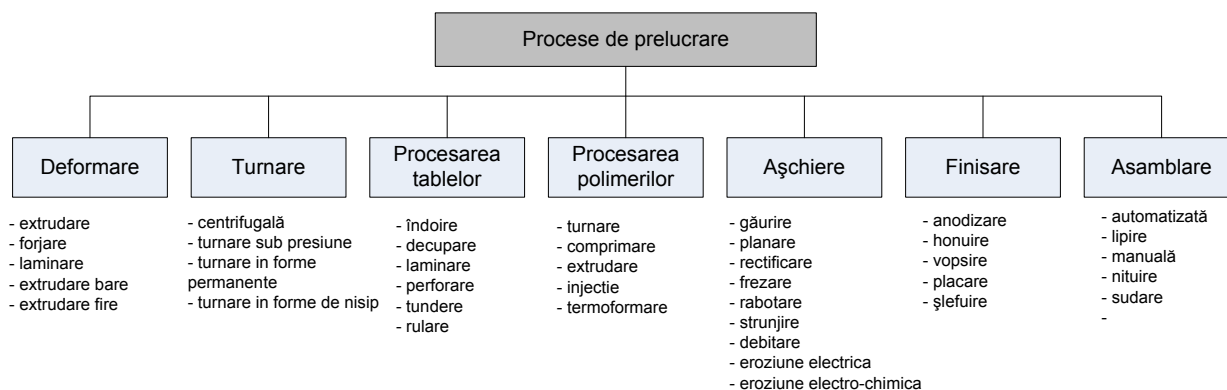


Figura 2.1 Clasificarea proceselor de fabricație [GRO 10]



**Figura 2.2** Clasificarea proceselor de prelucrare

## 2.1 Clasificarea proceselor de prelucrare

Între numeroasele etape ale procesului de producție etapa de fabricație are o importanță deosebită. Scopul acesteia este de a realiza piese cu o geometrie și proprietăți bine definite. Criteriul care stă la baza clasificării proceselor de prelucrare este **transformarea** materialului (Figura 2.3). Acesta trebuie mai întâi obținut (**semifabricare**): structura sa poate fi menținută sau ușor modificată (**deformare, modificarea proprietăților materialului**), poate fi micșorată (**separare**) sau poate fi mărită (**adăugare, acoperire**). Acest mod de sistematizare permite preluarea în timp a unor noi procese de prelucrare și servește ca bază pentru standardizarea internațională, cuprinsă în DIN 8580. În continuare procesele de prelucrare sunt clasificate în 6 grupe principale, alcătuite la rândul lor din grupe și subgrupe.

Obținerea formei	Modificarea formei				Modificarea proprietăților materialului
	Realizarea structurii materialului	Menținerea structurii materialului	Micșorarea structurii materialului	Mărirea structurii materialului	
Grupa principală 1	Grupa principală 2	Grupa principală 3	Grupa principală 4	Grupa principală 5	Grupa principală 6
Semifabricare	Deformare	Separare	Adăugare	Acoperire	

**Figura 2.3** Clasificarea proceselor de prelucrare (DIN 8580) [WES 01]

**Semifabricarea** este prelucrarea unui corp prin realizarea compoziției acestuia. În această etapă sunt importante proprietățile materialului.

**Deformarea** reprezintă procesul de prelucrare prin modificarea (plastică) a formei unui corp solid. În acest fel se mențin atât masa cât și compoziția materialului. Pentru ordonarea celor mai mult de 200 de procese de deformare plastică (fiecare cu numeroase variante de realizare) se ia în considerare modul de solicitare al materialului. Continuarea clasificării în subgrupe se face pe baza unor criterii ca direcția de curgere a materialului, geometria sculei și a semifabricatului.

**Separarea** este procesul de prelucrare prin modificarea formei unui corp solid, cu modificarea locală stării-structurii acestuia (în ansamblu se micșorează). Forma finală a semifabricatului este considerată forma de ieșire a acestuia. Din această grupă fac parte și demontarea corpurilor asamblate și curățarea.

**Adăugarea** reprezintă realizarea unor legături de durată sau a altor conexiuni între două sau mai multe repere cu o formă geometrică definită sau a unor asemenea semifabricate cu alte materiale. Astfel starea piesei este modificată local sau în ansamblu mărită.

O conexiune realizată prin adăugare poate fi temporară (demontabilă) sau permanentă. Legăturile temporare permit anularea acestora fără deteriorarea reperelor componente. În cazul legăturilor permanente, pentru eliminarea acestora trebuie avută în vedere deteriorarea sau distrugerea elementelor constituente. Subclasificarea proceselor din grupa principală Adăugare se face în funcție de tipul structurii materialului, ținând cont de modul de generare.

Adăugarea nu se confundă cu montajul. Montajul presupune utilizarea unor operații de asamblare și implică suplimentar operații de manipulare, măsurare și control.

**Acoperirea** reprezintă adăugarea și fixarea unui strat dintr-un material fără o geometrie definită pe suprafața semifabricatului. Decisivă este starea materialului utilizat pentru realizarea acoperirii. Clasificarea proceselor din această grupă se face pe baza procedurilor tehnice utilizate respectiv după starea de agregare a materialului acoperirii. Ca materiale de acoperire se utilizează materiale metalice, materiale anorganice nemetalice (de ex email, ceramică) sau materiale organice (lacuri).

**Modificarea proprietăților materialului** reprezintă prelucrarea prin modificarea proprietăților materialului din care un semifabricat este confecționat. Au loc modificări domeniul submicroscopic și atomic de exemplu prin difuzia atomilor, generarea sau deplasarea unor rețele atomice în urma unor reacții chimice.

Alegerea unui anumit procedeu de prelucrare pentru procesarea unui semifabricat depinde de precizia dimensională, calitatea suprafeței impuse, mijloacele de producție disponibile și de volumul producției. Cu cât mărimea unui lot de fabricație este mai mare cu atât posibilitățile de automatizare a producției sunt mai mari. Limitele posibilităților de automatizare nu sunt dictate de posibilitățile tehnice ci de considerente economice.

## 2.2 Procese de prelucrare

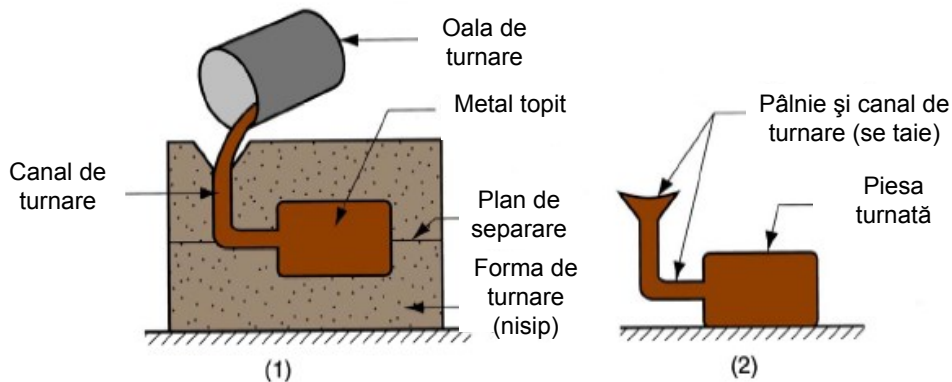
Sunt acele operații prin care se modifică **forma, proprietățile fizice** și/sau **aspectul** semifabricatului, în scopul de a adăuga valoare materialului prelucrat. Există trei categorii principale de operații de prelucrare:

- **Procese de modelare (formare)** modifică geometria semifabricatului inițial. Operațiile de modelare pot fi la rândul lor împărțite în **patru categorii**:
  - a) **Procese de solidificare** - materialul de bază este **un lichid încălzit sau un semilichid** care se solidifică sub forma/geometria semifabricatului. Materia primă este încălzită suficient pentru a se transforma într-o stare lichidă sau pentru a ajunge într-o stare extrem de plastică. Exemple: turnarea metalelor, injectarea materialelor plastice.

În cazul multor produse industriale se folosesc procesele de turnare pentru obținerea unei prime forme a piesei. Turnarea permite proiectantului o anumită libertate în ceea ce privește proiectarea formei.

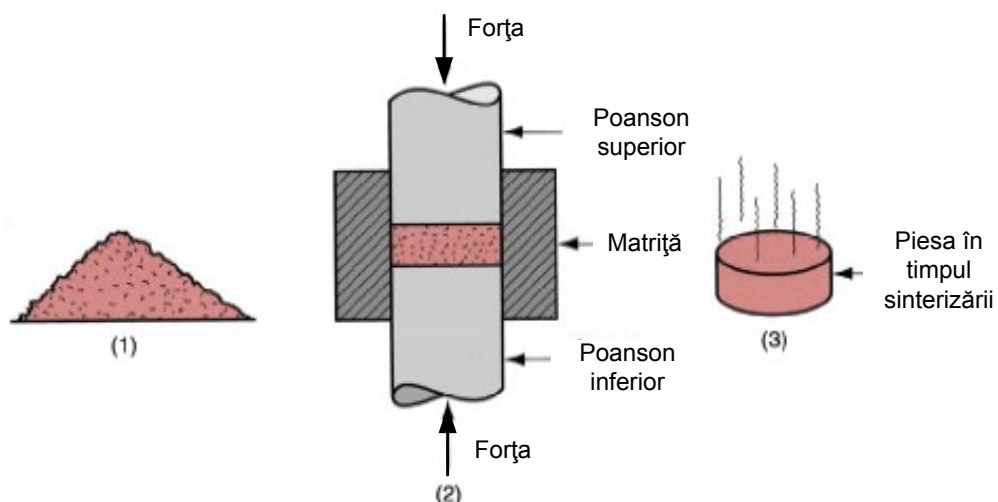
Astfel devine posibilă fabricarea eficientă a unor piese cu configurație geometrică complicată. Clasificarea proceselor de turnare se face în procese de turnare în modele fuzibile respectiv în forme solide, în funcție de utilitatea formelor respectiv a sculelor.

Materialele care se pot turna se clasifică în metalice (feroase și neferoase) și nemetalice. Cele mai importante materiale feroase care se toarnă sunt: **fonte cu grafit lamelar (GGL)**, **fonte cu grafit nodular (GGG)**, **fonte albe și cenușii (GTW und GTS)**, ca și **oțelurile de turnare**. Dintre materialele neferoase se remarcă **alumiuniul**, datorită proprietăților foarte bune de turnare.



**Figura 2.4** Procesul de solidificare (turnare) [GRO 10]

**b) Procesarea pulberilor (particulelor)** - materialul de pornire este **o pulbere metalică sau ceramică**, care este formată în geometria dorită și apoi sinterizată pentru a se întări. Procesarea implică, de obicei, etapele de presare și sinterizare, în care pulberile sunt mai întâi introduse într-o matriță, care apoi se încălzește pentru ca particulele individuale să se topească și să se unească prin recristalizare, rezultând semifabricatul propriu-zis. Prin sinterizare materialele își schimbă proprietățile.



Fabricația pieselor sinterizate se realizează în mai multe etape, cele mai importante fiind prezentate în figura 2.5.

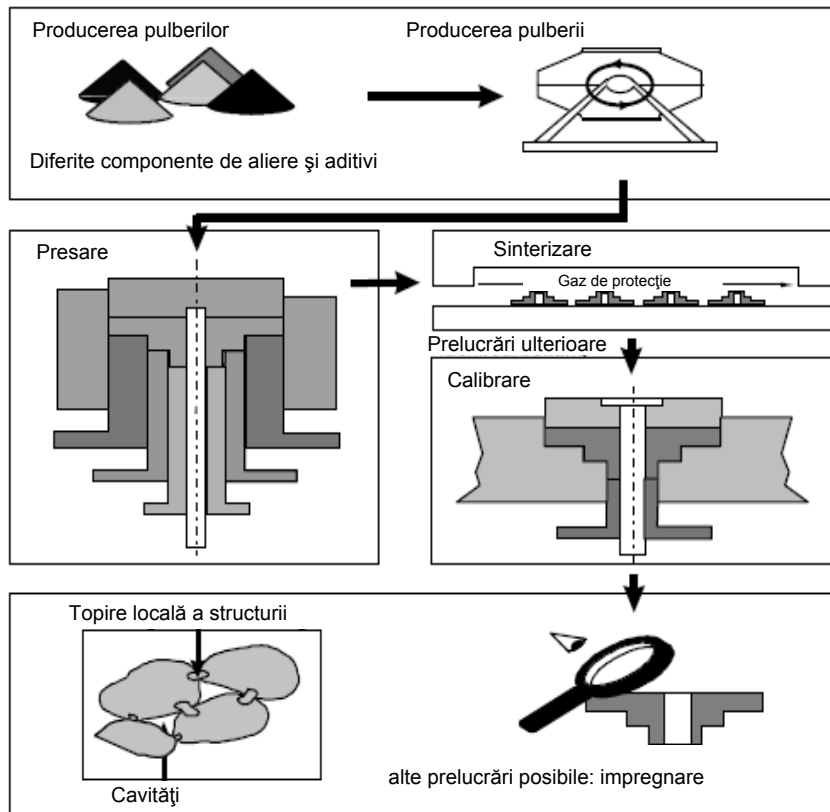
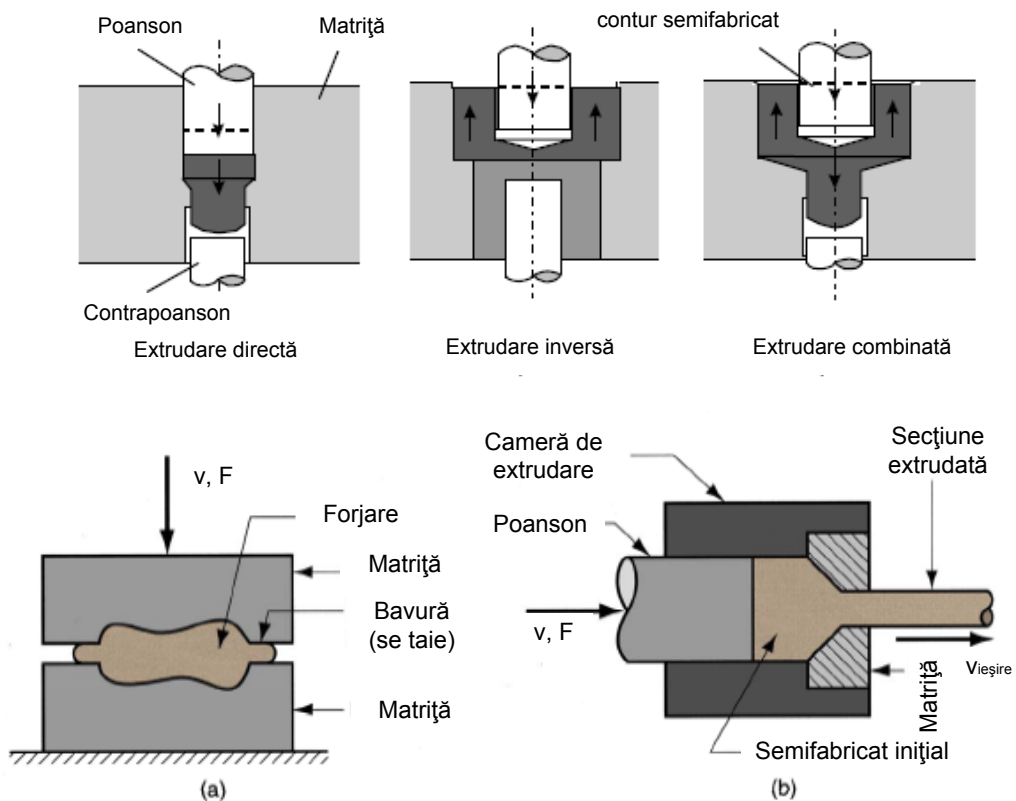


Figura 2.5 Procesarea pulberilor [WES 01]

c) **proces de deformare** - materia primă este în acest caz un solid ductil (de obicei un metal), care este deformat. Semifabricatul inițial este modelat prin aplicarea unor forțe care depășesc limita de curgere a materialului. Exemple: laminare, forjare (a), extrudare (b). Procesul se desfășoară în domeniul plastic.

Figura 2.6 Procese de deformare [GRO 07]

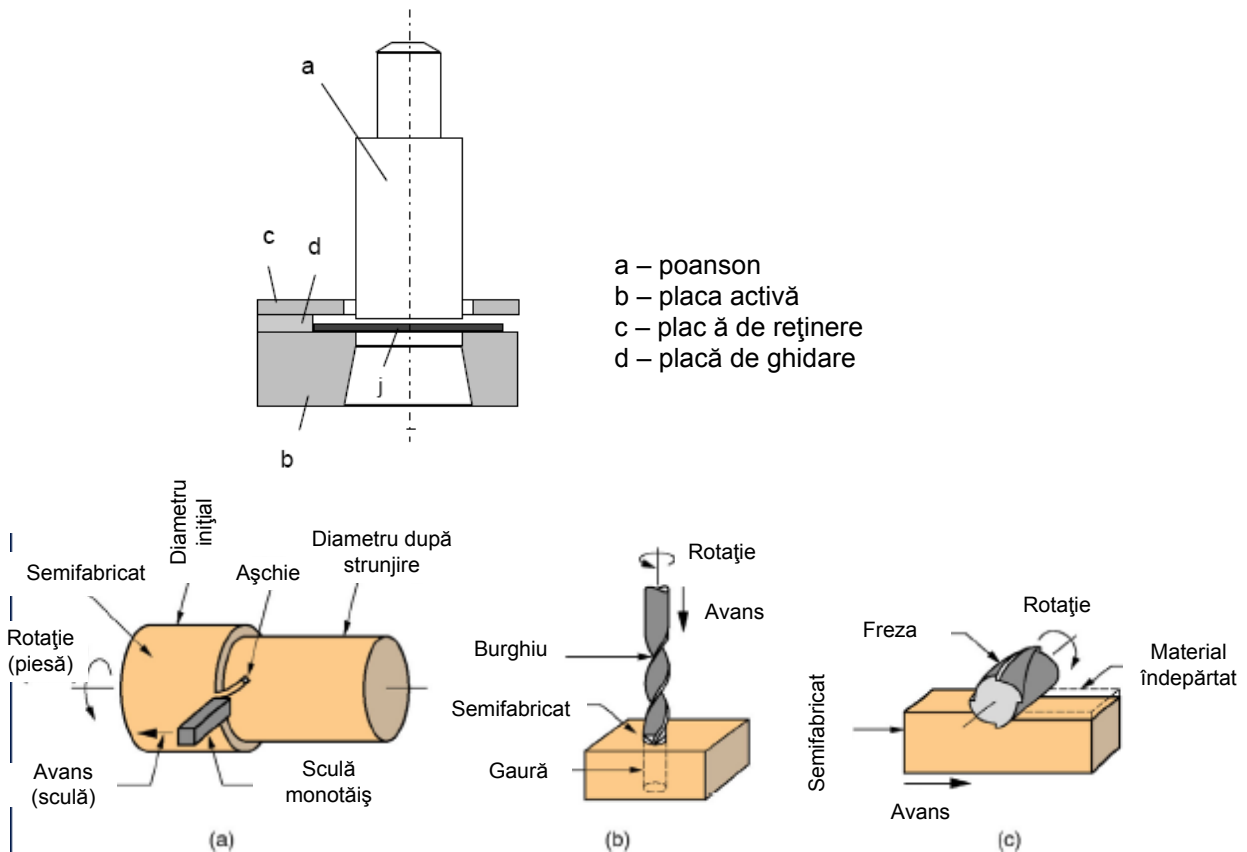




Procesele de deformare se deosebesc de celelalte procese de fabricație prin forțele de așchiere mari necesare pentru prelucrare, prin includerea întregii piese în procesul de prelucrare, prin timpii de procesare în general scurți și un consum mare de energie.

**d) Procese de separare a materialului** - materialul inițial este **un solid (ductil sau fragil)**, din care este eliminat materialul în exces astfel încât să rezulte o piesă cu geometria dorită. Procesul propriu-zis se desfășoară în zona de lucru unde scula acționează asupra materialului. Scula și semifabricatul sunt considerate un cuplu. În timpul desfășurării procesului au loc mișcări relative între semifabricat și sculă (mișcarea principală, mișcări de avans, mișcări de pătrundere) realizate de una sau de ambele componente ale sistemului tehnologic. Energia și puterea necesare procesului de separare este transformată în căldură prin deformarea materialului, forfecare și frecare.

Exemple: ștanțare, procese de așchiere, cum ar fi de strunjirea, găurirea, frezarea, rectificarea și de asemenea procesele neconvenționale.



**Figura 2.7** Procese de îndepărtare a materialului [GRO 10]

### Deșeurile în procesele de modelare / formare

Este de dorit minimizarea deșeurilor și a așchiilor rezultate în procesele de modelare/formare. Procesele de separare a materialului tind să fie mari generatoare de deșeuri în realizarea unei piese, datorită modului în care acestea se desfășoară. Turnarea și deformarea plastică generează, de obicei, cantități mici de deșeuri. Terminologie:

- **procese de formare directă** - atunci când cea mai mare parte a materialului de pornire se utilizează și nici prelucrare ulterioară este necesară pentru a obține o geometria finală a piesei.
  - **procese de formare incompletă** – atunci când după modelare sunt necesare prelucrări minime prin aşchiere.
- **Operațiile de schimbare a proprietăților** sunt operații prin care se modifică proprietățile materialului fără a-i schimba forma. Aceste operații sunt efectuate pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice sau fizice ale materialului semifabricatului. Forma semifabricatului nu se modifică, cu excepția cazurilor când aceasta se întâmplă neintenționat. Exemple: tratamente termice ale metalelor și sticlei, sinterizarea pulberilor metalice sau ceramice.
  - **Operațiile de procesare a suprafețelor** sunt efectuate pentru a curăța, trata, acoperi, sau adăuga material pe suprafața exterioară a semifabricatului. Multe operații de procesare a suprafețelor sunt utilizate pentru fabricarea circuitelor integrate.

Pe suprafețele semifabricatelor sunt impuse adesea condiții pe care materiile prime nu le pot îndeplini. Acoperirile suprafețelor pot îndeplini aceste sarcini. Astfel se pot analiza separat proprietățile de suprafață ale pieselor și cele care vizează întregul volum al materialului piesei respective. Avantajul care rezultă este în fiecare caz o alegere optimă a materialului semifabricatului. Condiția este o tratare preliminară corespunzătoare fie a materialului de bază, fie a stratului superficial de material.

**a) procese de curățare** sunt procese mecanice sau chimice realizate în scopul de a îndepărta murdăria, uleiul și alte impurități de pe suprafața piesei.

**b) tratamente de suprafață** sunt acțiuni mecanice, cum ar fi sablarea sau procese fizice, cum ar fi difuzia.

**c) acoperiri și depuneri de filme subțiri** reprezintă acoperirea suprafețelor exterioare ale semifabricatului.

Diferitele procedee de acoperire pot fi apreciate pe baza mai multor criterii: **reproductibilitate**, **uniformitate**, **lipsa defectelor** în stratul depus, **posibilitățile de control** al desfășurării procesului, **asigurarea proprietăților** fizice, chimice și optice și în ultimul timp **ecologicitatea** acestor procese.

## 2.3 Operații de asamblare

Al doilea tip de bază de operații de fabricare este constituit de operațiile de asamblare, în care două sau mai multe piese/repere separate sunt unite pentru a forma o nouă entitate. Componentele noului ansamblu sunt conectate **permanent** sau **semi-permanent**. Procesele de asamblare permanentă includ: sudare, brazare, lipire și lipirea cu adezivi. Ele formează un corp comun între componente care nu pot fi ușor deconectate.

**Metodele de asamblare mecanice** sunt disponibile pentru a fixa două (sau mai multe) piese împreună într-un montaj care poate fi demontat convenabil. Utilizarea de **șuruburi** și a altor elemente de prindere filetate sunt metodele tradiționale importante de asamblare din această categorie. Alte tehnici mecanice care formează o legătură semipermanentă includ: **nituri**, **fitinguri** și **elemente de expandare**. Metode speciale de fixare sunt utilizate în asamblarea produselor electronice. Unele dintre metodele sunt

identice sau sunt adaptări ale proceselor menționate anterior (de exemplu, lipirea). Câteva tipuri de operații de asamblare sunt:

- **procesele de contopire** – creează o asamblare permanentă. Exemple: sudare, brazare, lipire și lipire cu adezivi.
- **asamblare mecanică** - fixare prin metode și elemente mecanice de montaj. Exemple: folosirea de șuruburi, buloane, piulițe, alte organe de asamblare, fittinguri, elemente expandabile.

# CAPITOLUL 3.

## Echipamente de producție și scule

### 3.1 Mașini și scule

Operațiile de prelucrare sunt realizate folosind utilaje, scule și resurse umane. Odată cu debutul revoluției industriale utilajele destinate prelucrării metalelor au început să fie dezvoltate și utilizate pe scară largă. Acestea au fost numite **mașini-unelte** - mașini acționate cu diferite tipuri de energie, fiind folosite pentru a opera scule așchietoare manevrate anterior manual.

Mașinile-unelte moderne pot fi descrise prin aceeași definiție de bază, cu excepția faptului că sunt acționate mai degrabă cu energie electrică decât cu apă sau abur, iar nivelul de precizie și de automatizare este în prezent mai mare.

Alte echipamente de fabricație sunt **presele** pentru operații de ștanțare, **ciocane de forjare**, **laminoare** pentru table metalice, **echipamente de sudare** și **mașini de inserție** pentru introducerea componentelor electronice în plăci de circuite imprimate.

Echipamente de fabricație pot fi de **uz general** sau cu **destinație specială**. **Echipamentele de uz general** sunt mult mai flexibile și adaptabile pentru o varietate de tipuri de prelucrări. Sunt disponibile pentru comercializare, pentru orice companie producătoare dispusă să investească în acest scop. **Echipamentele speciale** sunt de obicei proiectate pentru a produce un reper sau un produs specific în cantități foarte mari.

Economia producției de masă justifică investiții mari în echipamente cu scop special pentru a obține randamente ridicate și cicluri de fabricație scurte. Un alt motiv este faptul că procesele de prelucrare desfășurate pe acest tip de utilaje sunt unice, iar echipamentele comerciale nu sunt disponibile. Unele companii cu cerințe unice de procesare își dezvoltă propriile echipamente cu caracteristici specifice.

Echipamentele de fabricație necesită, de obicei, scule care **particularizează** echipamentele respective pentru reperul sau produsul care se prelucurează. În multe cazuri, sculele trebuie să fie proiectate special pentru fabricația unui reper sau pentru o anumită configurație a produsului. În vederea prelucrării pentru fiecare tip de semifabricat, sculele sunt fixate pe mașină.

Atunci când prelucrarea este finalizată, sculele sunt schimbate pentru următorul tip de piese. În situațiile în care sculele sunt utilizate pe mașini specializate, ele sunt adesea concepute ca o parte integrantă a mașinii. Tipul de scule utilizate este dictat de tipul procesului de fabricație.

### 3.2 Sistemul de producție

Sistemele de producție se deosebesc în literatura de specialitate după tipurile de fabricație. Există mai multe moduri de planificare a producției în funcție de volumul acesteia: **producție unicat**, **producție de serie**, **producție de masă** sau producție **staționară** sau **mobilă** (în flux). Rezolvarea acestei probleme în scopul organizării și conducerii corecte a sistemelor de producție este responsabilitatea **managementului producției**. Fiecare întreprindere își dezvoltă propriul sistem de producție în care sunt descrise **principiile generale**, **standardele**, **metodele** și **instrumentele** care se folosesc pentru organizarea producției, alegerea metodelor de lucru și de producție.

Sistemul de producție este format din resurse umane, echipamente și proceduri, concepute pentru o anumită combinație de materiale și procese, care constituie operațiile de fabricație ale firmei. O firmă de producție trebuie să dispună de sisteme pentru a realiza eficient tipul de producție specific acesteia. Există două categorii de sisteme de producție: **facilități de producție (infrastructura)** și **sisteme auxiliare de producție**. Ambele categorii includ resurse umane (oameni creează aceste sisteme de lucru).

**Facilitățile de producție (infrastructura)** ale unei fabrici constau din echipamente de producție și echipamente de manipulare și transport ale materialelor. Facilitățile de producție vizează produsul și includ, de asemenea, modul în care echipamentul este amplasat în fabrică – **organizarea firmei**. Echipamentul este, de obicei, organizat în grupuri logice, numite **sisteme de fabricație**. Exemple: **linii de producție automatizate**, **celule de fabricație** formate dintr-un robot industrial și două mașini-unelte.

**Facilitățile de producție** sunt corelate cu volumul producției (cantitatea de produse). O companie își proiectează sistemele de fabricație și organizează departamentele pentru a servi scopurilor sale specifice. Anumite tipuri de facilități de producție sunt recunoscute ca fiind cele mai potrivite pentru un anumit tip de fabricație (combinație între varietatea de produse și volumul producției). Diverse facilități sunt necesare pentru fiecare dintre cele trei tipuri de producție.

#### ▪ **Producția individuală (unicate)**

**Producția individuală** (de unicate) este acel tip de producție în cadrul căruia, de regulă, se realizează doar o unitate (sau un număr limitat) dintr-un anumit produs. Niciunul dintre produsele realizate nu este identic sau asemănător cu celelalte. Volumul producției este redus și se încadrează între 1-100 unități/an. În cadrul producției individuale se diferențiază două categorii:

- **producție individuală unicat**. În acest caz fiecare produs este proiectat și fabricat o singură dată ca **unicat**
- **producție individuală repetată**. În această situație fabricația unui produs este repetată, chiar dacă durata întreruperii fabricării acestuia este atât de mare încât echipamentele de fabricație în acest timp nu mai sunt disponibile .

Producția individuală este producția la cerere. Asta înseamnă, că produsele se realizează pentru un anumit client actual. Prin urmare, producția individuală, depinde de capacitatea de producție și de posibilitățile tehnice ale echipamentelor. Nu există un program de producție bine stabilit.

Întreprinderile care realizează producție individuală necesită echipamente și instalații de producție universale și un parc de mașini vast, astfel încât acestea să poată răspunde la nevoile diverse ale clienților.

În plus, echipamentele de producție trebuie să fie ușor și rapid de convertit, motiv pentru care sistemul este proiectat astfel încât să aibă o flexibilitate maximă. Firmele respective trebuie să dispună de personalul calificat și bine instruit, care să poată fi utilizat în mod flexibil pentru realizarea diferitelor activități.

Organizarea producției companiei în cazul producției individuale se face în mare parte în cadrul unui atelier de producție, care se caracterizează prin concentrarea spațială activităților de producție.

### **Avantaje**

- Permite îndeplinirea cerințelor individuale și neuzuale ale clienților.
- Compania se poate adapta repede la schimbarea condițiilor de piață.
- Creșterea satisfacției și motivării personalului datorită varietății de produse care sunt fabricate.

### **Dezavantaje**

- Producția individuală determină costuri unitare ridicate.
- Clientul trebuie să accepte uneori termene lungi de livrare, dacă fabricația unor produse solicitate nu este posibilă imediat.

Producția individuală este concepută astfel încât să aibă flexibilitate maximă în scopul de a face față fabricării unei varietăți largi de produse (nomenclator mare de fabricație). În cazul în care produsul fabricat are greutate și/sau gabarit mare și, prin urmare, este dificil de manevrat sau mutat, aceasta rămâne de obicei într-o singură locație pe durata fabricării și asamblării sale. Muncitorii și echipamente de procesare sunt transferate la produs, mai degrabă decât să se deplaseze produsul la fiecare dintre echipamentele de prelucrare necesare. Acest tip de organizare este menționată ca **organizare în poziție fixă**, fiind prezentat în figura 3.1(a). În situația ideală, produsul rămâne într-o singură locație pe durata întregului proces de producție. Exemple: fabricația navelor, avioanelor, locomotivelor sau a utilajelor grele. În practică, aceste tipuri de produse sunt de obicei construite în module mari în locații individuale, iar apoi modulele finalizate sunt transportate pentru asamblarea finală cu macarale de mare capacitate.

Componentele individuale ale acestor produse mari sunt adesea realizate în fabrici în care echipamentele sunt aranjate în raport cu funcțiile sau tipul acestora. Acest mod de organizare este numit un **organizare orientată pe proces**. Astfel strungurile sunt amplasate într-o secție, mașinile de frezat într-un alt departament etc., așa cum este indicat în figura 3.1(b). Diferite piese, fiecare necesitând o secvență diferită de operare, sunt transferate prin departamente în ordinea necesară pentru prelucrarea lor, de obicei în loturi. Organizarea producției orientată pe proces este renumită pentru flexibilitatea sa și se poate adapta la o mare varietate de secvențe de operare pentru diferite configurații ale pieselor. Dezavantajul acesteia este că mașinile-unelte și metodele de fabricație pentru o anumită piesă nu sunt proiectate pentru obținerea unei eficiențe ridicate.

### **▪ Producția de serie**

**Producția de serie** este caracterizată prin producerea simultană sau secvențială a mai multor produse similare (serie, lot), numite, de asemenea, produse de serie. Acesta este un tip de producție, cu un număr mare dar limitat de repetări. Dacă realizarea unei serii de fabricație este completă, începe producerea unei alte serii. Caracteristicile producției de serie sunt numărul limitat (o serie) de produse similare, produse

comparabile calitativ, produse diferite din punct de vedere al proceselor de prelucrare. Timpii și costurile de organizare a producției unei noi serii sunt foarte importante.

În cadrul producției de serie se fabrică între 100-10.000 de unități anual. În funcție de volumul de produse fabricate se diferențiază **producția de serie mică**, când se prelucrează un număr mai redus de produse similare și **producția de serie mare** când se realizează o cantitate mare de produse similare (de ex. industria auto). Producția de serie mică: mai puțin de 20 de unități pe lună (într-o săptămână cu 5 zile lucrătoare = max. 1 bucată/zi)

- Producția de serie mijlocie: 20 - 1000 bucăți/lună.
- Producția de serie mare: mai mult de 1000 de bucăți/lună.

Mai mult, se poate face distincție între producția de masă orientată pe **cererea unor clienți** și cea dictată de **cererea pieței**. În cazul producției de serie orientată pe cererea clienților, produse parțial standardizate sunt fabricate la comanda clientului. În producția de masă orientată spre cererea pieței produsele parțial standardizate sunt realizate pentru beneficiari anonimi. Exemple: industria de automobile, furnizori pentru industria de automobile, construcția de mașini-unelte standardizate, industria mobilei.

### **Avantaje**

Câteva dintre avantajele de producție de masă sunt: fabricația ușoară a produsului, deoarece procesele nu se schimbă în timpul fabricării unei serii, ceea ce se reflectă atât direct, cât și indirect în calitatea superioară a produselor, printr-un management eficient al calității. Produsele sunt mai ieftine, deoarece echipamentele de producție necesare pot fi optimizate și mai eficient utilizate. În plus, procurarea materialelor necesare în cantități mari este semnificativ mai ieftină.

Produsul este disponibil în cantități relativ mari pe piață. În plus, se înregistrează o productivitate ridicată, cicluri scurte de fabricație și o tendință spre costuri de transport și depozitare reduse. Utilizarea forței de muncă semicalificate este posibilă datorită existenței unor secvențe de lucru standard. Datorită costurilor fixe mici se reduc și costurile unitare.

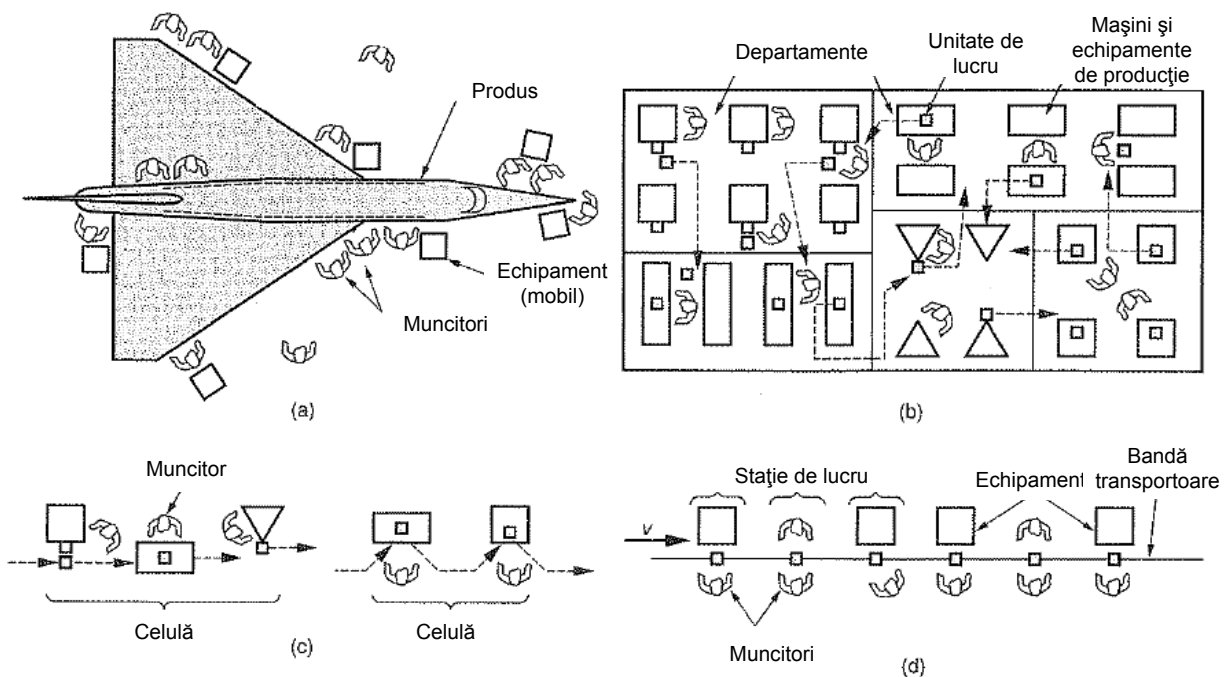
### **Dezavantaje**

Individualitatea producției unice este pierdută. Producătorii și fabricile mici pot produce doar produse de nișă profitabile. Eventuale ajustări la schimbările de pe piață sunt legate de costurile ridicate de conversie (de ex. costuri de pregătire-încheiere a producției).

Costurile de depozitare cresc atunci când mai multe produse sunt realizate succesiv pe aceeași mașină, pentru a fi vândute în același timp. În contrast cu producția individuală, producția de serie necesită investiții de capital mari, ceea ce este considerat un dezavantaj.

Se utilizează două tipuri diferite de facilități, în funcție de varietatea de produse:

- varietatea de produse este mare: se lucrează cu **loturi de producție**
- varietate de produse redusă: **fabricație celulară**



**Figura 3.1** Diferite tipuri de organizare a producției: (a) poziție fixă, (b) organizare orientată pe proces, (c) fabricație celulară și (d) organizare orientată pe produs [GRO 07]

Când varietatea de produse este mare, abordarea uzuală este cea a fabricării în **loturi/serii de fabricație**, în care se prelucerează un lot dintr-un anumit produs, după care fabricația este schimbată pentru a produce un lot din produsul următor și așa mai departe. Trecerea de la o serie de fabricație la alta necesită timp (pentru a schimba sculele și a reconfigura utilajele).

Acest timp de schimbare a fabricației este timp pierdut din punct de vedere al producției, iar acest lucru este un dezavantaj al producției în loturi de fabricație. Loturile de fabricație sunt frecvent utilizate pentru situațiile în care se urmărește crearea unor stocuri, caz în care produsele sunt fabricate pentru a reface stocurile care sunt epuizate treptat în funcție de cererea clienților.

O abordare alternativă la producția de serie, este posibilă în cazul în care varietatea de produse este redusă. În acest caz, trecerea de la fabricarea unui tip de produs la următorul s-ar putea să nu mai fie necesară. Este adesea posibilă o configurare a sistemului de producție, astfel încât grupuri de produse similare pot fi realizate pe același echipament, fără a pierde timp semnificativ din cauza reconfigurării. Prelucrarea sau asamblarea diferitelor componente sau produse se realizează în **celule de fabricație** formate din mai multe stații de lucru sau mașini.

Termenul de **fabricație celulară** este adesea asociat cu acest tip de producție. Fiecare celulă este proiectată pentru a produce o varietate limitată de piese cu anumite configurații. Celula de fabricație este specializată în producerea unui anumit set de produse similare, în conformitate cu principiile **tehnologiei de grup**. Organizarea este numită organizare celulară (organizare pe tehnologia de grup) și prezentată în figura 3.1 (c).



## ▪ **Producția de masă**

**Producția de masă** este caracterizată de producerea unei cantități mari din aceleași produs, folosind piese interschimbabile, standardizate și subansambluri, pentru o perioadă nedeterminată de timp. Tehnologiile de producție automatizate și liniile de producție sunt folosite adesea pentru producția de masă.

**Diviziunea muncii** se face în așa fel încât fiecare angajat execută în cadrul întregului proces de producție doar câteva activități specifice, care au fost supuse unor norme stricte. Acest lucru înseamnă că eficiența și productivitatea ar putea fi majorate, prin faptul că muncitorul este specializat în efectuarea operațiilor respective.

Cu toate acestea, principiul diviziunii muncii este compensat de faptul că responsabilitatea unui muncitor a fost diminuată foarte mult, deoarece activitatea sa a fost redusă la sarcini monotone. Prin urmare, aceasta creează obstacole în ceea ce privește satisfacția și motivarea în rândul muncitorilor.

- **Standardizarea.** Producția de piese interschimbabile necesită stabilitatea dimensională a pieselor în cadrul toleranțelor definite. Piesele care au fost fabricate în afara de câmpului de toleranță, nu mai pot fi utilizate și au fost clasificate ca rebuturi, diminuând productivitatea totală a unității de producție.

Sunt elaborate metode pentru a monitoriza precizia dimensională în scopul creșterii productivității.

- **Interschimbabilitatea.** Folosind piese interschimbabile, procesul de producție a fost mult simplificat. Astfel reparațiile necesare pot fi realizate într-un timp mai scurt.

- **Mașini speciale.** Pentru a asigura o anumită toleranță în domeniul standardizării, a fost necesară utilizarea în fabricație a unor mașini speciale. La început aceste echipamente au fost realizate în special în propriile fabrici. Mai târziu au fost achiziționate de la furnizorii de mașini-unelte.

## **Avantaje**

- Pregătirea muncii, performanțelor de producție și distribuției se concentrează pe un produs sau un număr mic de produse, care sunt produse în cantități mari (volum mare de produse cuprins între 10.000 - milioane de unități/an)
- Potențial de optimizare a procesului de producție
- Reducerea costurilor fixe și a costurilor totale prin utilizarea optimă a resurselor

## **Dezavantaje**

- Lipsa de flexibilitate în procesul de producție
- Nemulțumirea angajaților ca urmare a activităților omogene de muncă, stres fizic și mental mare
- Costurile fixe de capital mari
- Dacă apare o eroare de fabricație a produsului, întregul proces de producție trebuie corectat ceea ce implică pierderi importante de timp.

Există două categorii de producție de masă:

### **1. Producția de masă (cantitativă)**

- reprezintă producția de masă a unei piese unice pe o singură mașină sau pe un număr mic de mașini
- implică de obicei, mașini standard echipate cu scule speciale

- echipamentul este dedicat în exclusivitate producerii unui tip de piesă
- modurile de organizare tipice sunt **organizarea pe produs** sau **organizarea celulară**

În cazul organizării pe produs, stațiile de lucru sunt aranjate într-o singură linie, ca în figura 3.1 (d), sau într-o serie de segmente conectate. Semifabricatul este, de obicei, mutat între stațiile de lucru cu ajutorul unor transportoare mecanizate. La fiecare stație, o mică parte din volumul total de muncă este realizată pentru fiecare unitate de produs.

## 2. Linia de fabricație

Suplimentar față de principiul de producție de masă apare așa-numitul principiu al fluxului, care a apărut prin implementarea liniilor de fabricație. Astfel ar trebui să se asigure un ritm uniform de lucru, care reduce timpul de lucru per unitatea de producție.

- mai multe mașini sau stații de lucru sunt aranjate în ordine, de exemplu, linii de producție
- produsul fabricat este complex și necesită multiple operații de prelucrare și/sau a asamblare
- unitățile de lucru sunt transferate conform secvenței de prelucrare pentru a finaliza produsul
- stațiile de lucru și echipamentele sunt proiectate special pentru prelucrarea produsului, astfel încât eficiența să fie maximizată.

## 3.3 Sisteme de producție auxiliare

O companie trebuie să se organizeze pentru: a proiecta procesele și echipamentele, a planifica și a controla comenzile de producție și a satisface cerințele de calitate ale produselor. Aceste funcții sunt îndeplinite de către sistemele de producție auxiliare – resursele umane și procedurile prin care o societate gestionează operațiile sale de producție. Departamentele tipice (Figura 3.2) sunt:

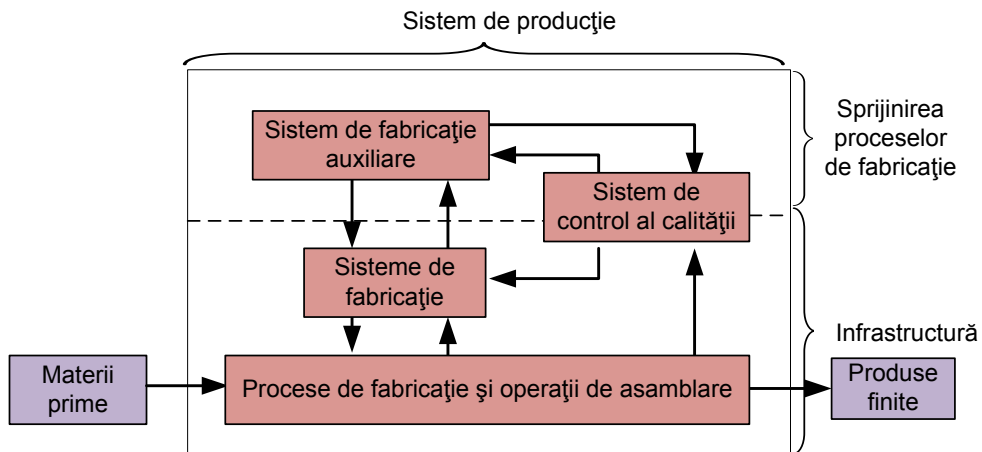
### 1. Departamentul de producție

Departamentul de organizarea fabricației este responsabil pentru planificarea proceselor de fabricație - decide ce procese ar trebui să fie folosite pentru a prelucra piesele și a le asambla sub formă de produse. Acest departament este, de asemenea, implicat în proiectarea și alegerea mașinilor-unelte și a altor echipamente utilizate de către departamentele de specialitate pentru a realiza procesarea și montajul.

### 2. Planificarea și controlul producției

Acest departament este responsabil pentru rezolvarea problemelor de logistică în fabricație - comandarea de materiale necesare și achiziționarea de piese, organizarea producției și asigură faptul că departamentele operaționale au capacitatea necesară pentru a îndeplini programele de producție.

### 3. Controlul calității



**Figura 3.2** Prezentare generală a sistemului de producție și temele majore în bazele fabricației

Producerea de produse de înaltă calitate, ar trebui să fie o prioritate pentru orice companie de producție în mediul competitiv de astăzi. Aceasta înseamnă proiectarea și realizarea de produse care sunt conforme cu specificațiile tehnice și satisfac sau depășesc așteptările clienților. Departamentul de control al calității este responsabil pentru o mare parte din acest efort.

# CAPITOLUL 4.

## Prelucrarea prin aşchiere

Aşchiera este cea mai versatilă și mai precisă metodă de prelucrare dintre toate procesele de fabricație, prin capacitatea sa de a produce piese cu o diversitate mare de geometrii și caracteristici geometrice (de exemplu, șuruburi, roți dințate, suprafețe plane, etc). Procesele de turnare pot produce, de asemenea, o varietate de forme, dar le lipsește precizia și acuratețea de prelucrare.

### 4.1 Aşchiera – Scop, principiu și definiție

#### ▪ Scopul aşchierii

Cele mai multe dintre componentele produselor industriale, cum ar fi angrenaje, rulmenți, ambreiaje, scule, șuruburi și piulițe, etc au nevoie de precizie dimensională și de formă, dar și o bună calitate a suprafeței pentru a servi destinației lor.

Procesele de preformare cum ar fi turnarea, forjarea, etc, în general, nu pot oferi precizia și calitatea corespunzătoare a suprafețelor prelucrate. Pentru ca astfel de piese preformate să corespundă cerințelor de calitate, ele trebuie prelucrate ulterior prin aşchiere (semifinisate, finisare și rectificare). Rectificarea este, de asemenea, în esență un proces de aşchiere.

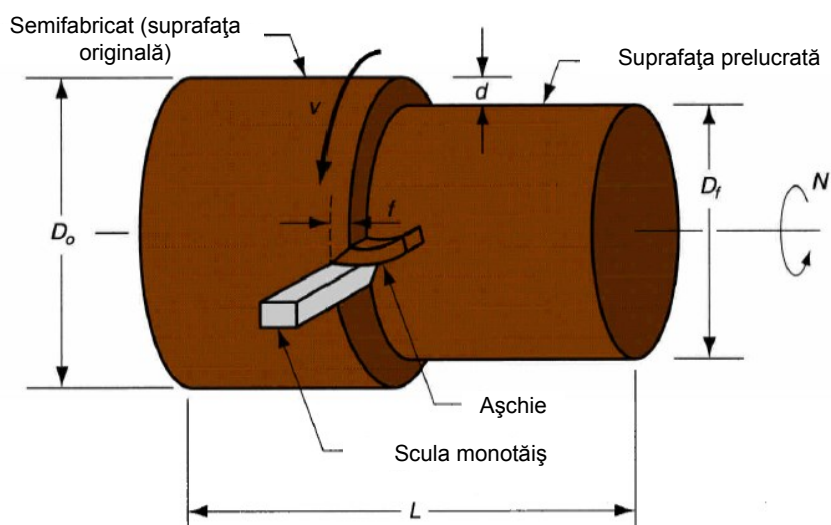
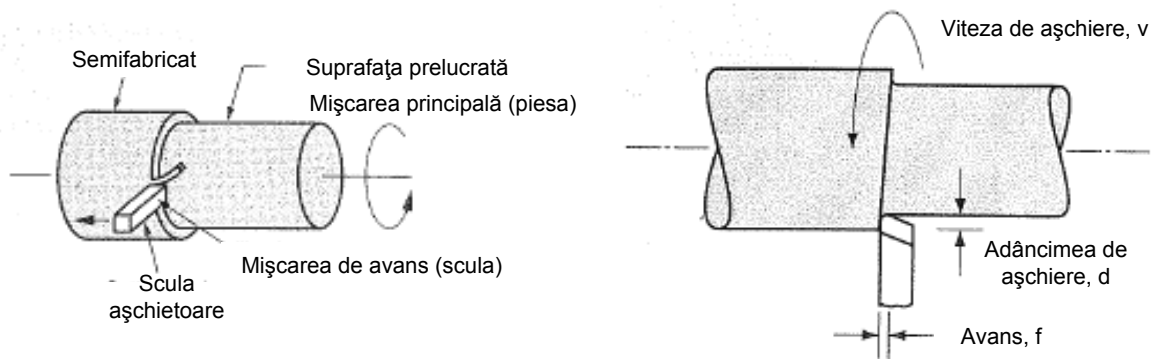
Aşchiera de mare precizie și prelucrările de finisare permit în esență, în cazul unui produs:

- **îndeplinirea caracteristicilor sale funcționale**
- **îmbunătățirea performanțelor**
- **prelungirea duratei de funcționare.**

#### ▪ Principiul aşchierii

Principiul de bază al aşchierii este ilustrat în figura 4.1. O bară metalică de formă, dimensiunii și suprafața neregulate este transformată prin prelucrare într-o piesă finită cu dimensiuni și calitate a suprafețelor dorite, prin mișcări relative corespunzătoare ale cuplului sculă-semifabricat.

Principiul de bază al aşchierii se bazează pe pătrunderea muchiilor sculei aşchietoare în formă de pană pe suprafața semifabricatului, urmată de desprinderea un strat subțire de material sub formă de aşchie. Materialul sculei trebuie să fie întotdeauna mai dur decât materialul prelucrat. Pentru prelucrarea materialelor relativ moi este suficient să se utilizeze oțelurile de scule. Pentru semifabricate mai dure, sunt folosite ca materiale de scule oțelurile speciale, carbură metalice sinterizate, materiale ceramice, corindon și diamant. Muchiile aşchietoare ale sculei pot avea o geometrie bine definită, de exemplu la strunjire și găurire, sau forme neregulate ca în cazul rectificării și lepuirii.



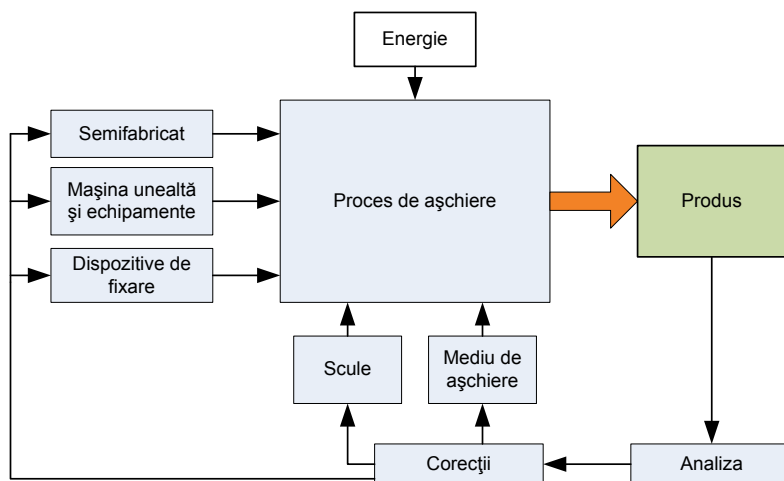
**Figura 4.1** Principiul așchierii (ex: strunjire) [GRO 10]

#### ▪ Definiția așchierii

Așchieria este un proces esențial de prelucrare prin care piesele sunt produse la dimensiunile și calitatea suprafeței dorite, prin eliminarea treptată a excesului de material de pe semifabricatul preformat sub formă de așchii cu ajutorul sculei (sculelor), care se deplasează pe suprafața (suprafețele) semifabricatului.

#### 4.2 Cerințe la așchiere

Cerințele de bază esențiale pentru operațiile de prelucrare prin așchiere sunt ilustrate schematic în figura 4.2



**Figura 4.2** Cerințe la așchiere

Semifabricatul și scula sunt montate corespunzător (cu ajutorul dispozitivelor de fixare) pe mașina-unealtă, care permite deplasarea relativă a acestora și eliminarea treptată a straturilor de material de pe suprafața semifabricatului, până la obținerea dimensiunilor și a rugozității dorite a suprafeței prelucrate. Anumite medii numite lichide de așchiere sunt, în general, utilizate pentru a ușura prelucrarea printr-o răcire și ungere favorabile.

**O mașină-unealtă** poate fi descrisă ca un sistem în cadrul căruia energia este consumată pentru prelucrarea unor piese de mărime, formă și suprafețe dorite. Prelucrarea are loc prin îndepărtarea excesului de material de pe semifabricat sub formă de așchii, cu ajutorul unor scule deplasate pe suprafața semifabricatului.

Mașinile-unelte produc practic suprafețe geometrice (plane, cilindrice sau orice contur) pe semifabricatele preformate prin prelucrarea acestora cu ajutorul unor scule așchietoare. **Funcțiile de bază** ale unei mașini unelte utilizate la așchiere sunt:

- Prinderea și fixarea fermă a semifabricatului și a sculei
- Transmiterea mișcării la sculă și semifabricat (antrenarea acestora în mișcare)
- Oferă puterea (dezvoltarea forțelor de așchiere) cuplului sculă-semifabricat pentru desfășurarea operațiilor de prelucrare
- Controlul parametrilor de prelucrare, de exemplu: viteză , avans și adâncime de așchiere.

#### **4.3. Principiile de bază de desfășurare ale operațiilor de așchiere pe mașini-unelte**

Mașinile-unelte permit prelucrarea unor suprafețe geometrice pe corpuri solide (semifabricate preformate). În acest scop ele sunt alcătuite din:

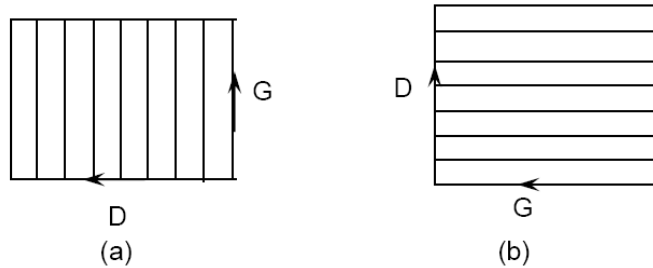
- Dispozitive pentru fixarea sculelor și a semifabricatelor
- Unități pentru furnizarea de energie și pentru asigurarea mișcării sculelor și a semifabricatelor în timpul procesului.
- Sistem cinematic pentru a transmite mișcarea și puterea de la sursă până la scule și semifabricate
- Sisteme de automatizare și control
- Structura de bază pentru a susține și menține compacte aceste sisteme și a le asigura rezistență și rigiditate suficientă.

Pentru îndepărtarea materialului la așchiere, semifabricatul și scula așchietoare trebuie să realizeze deplasări relative. Aceste deplasări și puterea necesară sunt derivate din sursa de alimentare, apoi transmise prin sistemul cinematic.

##### **4.3.1 Conceptul de generatoare și directoare**

###### **• Generarea suprafețelor plane**

Principiul este prezentat în figura 4.3 în care pe o suprafață plană o linie dreaptă numit **generatoare** (**G**) este traversată într-o direcție perpendiculară numit **directoare** (**D**), rezultând o suprafață plană.

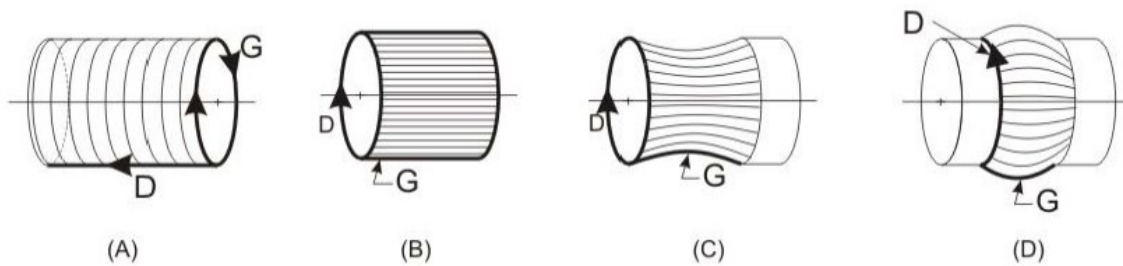


**Figura 4.3** Realizarea suprafețelor plane prin generatoare și directoare [GRO 10]

#### • Generarea suprafețelor cilindrice

Principiile de realizare a diferitelor **suprafețe cilindrice (de revoluție)** sunt prezentate în figura 4.4:

- O **suprafață cilindrică lungă și dreaptă** este obținută printr-un **cerc (G)** deplasat în direcția **(D)** paralel cu **axa** așa cum se arată în figura 4.4(a).
- O **suprafață cilindrică de lungime redusă** se obține prin deplasarea unei **linii drepte (G)** de-a lungul unui **traseu circular (D)** așa cum se indică în figura 4.4(b).
- Formarea **suprafețelor cilindrice** prin rotirea unei **linii curbe (G)** pe o **traietorie circulară (D)** așa cum se indică în figura 4.4(c) și (d).



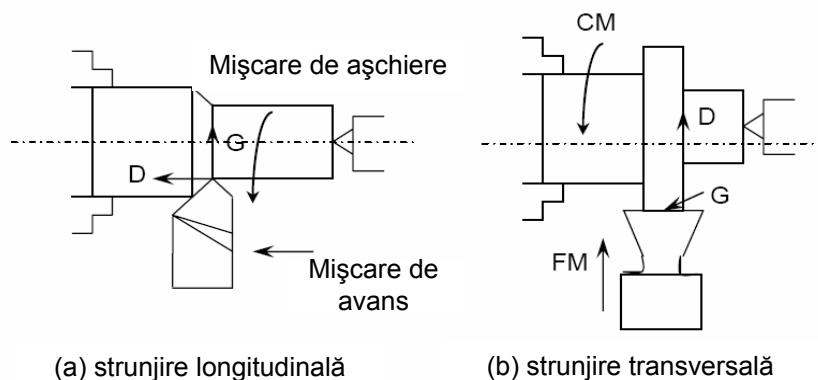
**Figura 4.4** Generarea suprafețelor cilindrice (de revoluție) [GRO 10]

#### 4.3.2 Mișcările sculei / semifabricatului

Liniile reprezentând generatoarea **G** și directoarea **D** sunt de obicei produse ca loc geometric al unui punct care se deplasează în două direcții diferite. Ele sunt de fapt obținute prin mișcarea punctului reprezentând vârful sculei în raport cu suprafața semifabricatului. Prin urmare, pentru prelucrarea suprafețelor plane sau curbe pe mașinile-unelte sunt necesare mișcări relative între sculă și semifabricat. Aceste mișcări care sunt clasificate în următoarele **două grupe**:

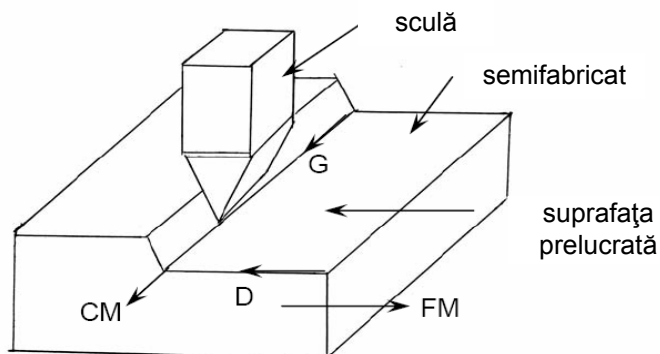
- Mișcări de formare (principale) și anume:
  - mișcarea de așchiere (**CM**)
  - avansul (**FM**) .
- Mișcări auxiliare, cum ar fi:
  - mișcarea de indexare
  - mișcări suplimentare de avans
  - mișcări ajutătoare.

**Generatoarea și directoarea**, scula așchietoare și semifabricatul și mișcările lor rămân, în general, interconectate și sunt diferite în cazul operațiilor de așchiere diferite. Astfel de interconexiuni sunt prezentate în figura 4.5 pentru strunjire și în figura 4.6 pentru rabotare.



**Figura 4.5** Principiul strunjirii (suprafața cilindrică) [GRO 10]

Conexiunile în cazul strunjirii cilindrice **longitudinale** prezentată în figura 4.5 (a) și **transversale** (b) sunt: Generatoarea (**G**) - mișcarea de așchiere (**CM**) - semifabricatul (**W**), Directoarea (**D**) - avansul (**FM**) - scula (**T**).



**Figura 4.6** Principiul de realizare a suprafețelor plane prin rabotare transversală [GRO 10]

În cazul prelucrării unei **suprafețe plane pe o mașină de rabotat transversal**, așa cum se arată în figura 4.6 conexiunile sunt: **G - CM - T, D - FM - W**. Aceasta indică faptul că la rabotarea suprafețelor plane generatoarea este asigurată de mișcarea de așchiere realizată de scula așchietoare, iar directoarea este dată de mișcarea de avans a semifabricatului.

Suprafețele plane sunt, de asemenea, produse de mașini planat (**mașini de rabotat longitudinal**), mai ales în cazul pieselor de dimensiuni mari, unde mișcarea de așchiere este realizată de semifabricat iar avansul de scula așchietoare. În acest caz conexiunile vor fi: **G - CM - W, D - FM - T**.

Generatoarea și directoarea pot fi obținute în **patru moduri**:

**1) Trasare/Urmărire (Tr)** - în cazul în care linia continuă este obținută ca o urmă de drumului parcurs de un punct în mișcare așa cum se arată în Figura 4.5 și Figura 4.6.



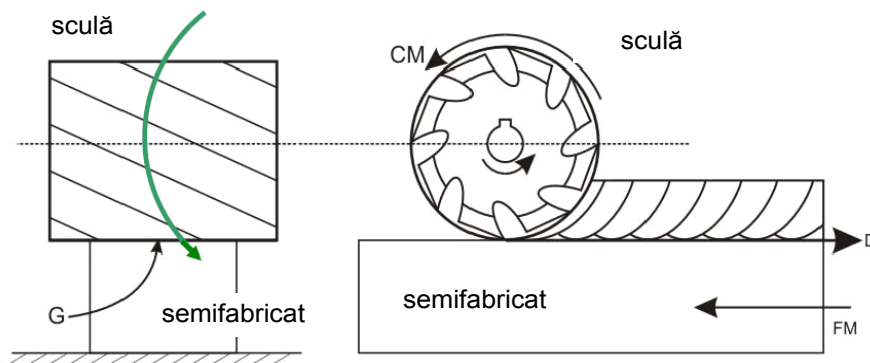
**2) Formare (F)** - în cazul în care generatoarea reprezintă exact profilul tăişului cum este indicat în Figura 4.4 (c) și (d).

**3) Trasarea tangentei (TTr)** - în cazul în care directoarea este considerată ca tangentă la succesiunea de urme trasate de muchiile sculei aşchiitoare așa cum este indicat în figura 4.7.

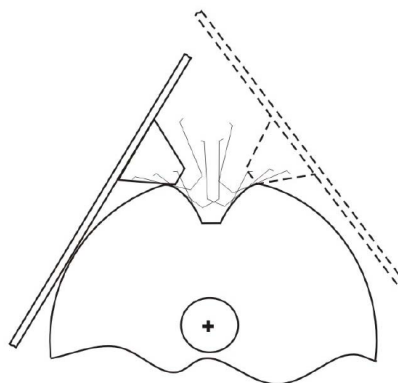
**4) Generare (G)** în acest caz G sau D este obținută ca o înfășurătoare a tangentei la pozițiile instantanee ale unei linii sau suprafețe care rulează pe o altă suprafață. Generarea danturii roților dințate prin frezare este un exemplu, așa cum se poate vedea în figura 4.8.

Figura 4.7 prezintă mișcările tipice ale sculei aşchiitoare și semifabricatului, respectiv generatoarea (**G**) și directoarea (**D**) corespunzătoare, în timpul prelucrării unei suprafețe plane cu o freză cilindrică pe o mașină de frezat convențională cu ax orizontal. G și D sunt conectate aici cu mișcările sculei și semifabricatului astfel: **G - T - F, D - FM - W - TTr, CM - T**.

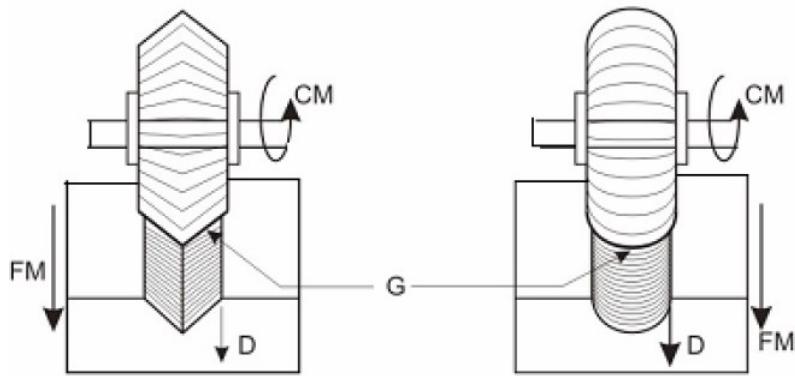
Aici G și D sunt independente de mișcarea de aşchiere. G reprezintă linia de contact între freză și suprafața plană a semifabricatului. În acest exemplu freza fiind cilindrică, G este o linie dreaptă și suprafața prelucrată plană. Frezele profilate vor produce suprafețe profilate similare așa cum se arată în figura 4.9, unde G reprezintă profilul sculei.



**Figura 4.7** Directoarea formată de tangentă la urmele lăsate de muchiile sculei la frezarea plană [GRO 07]

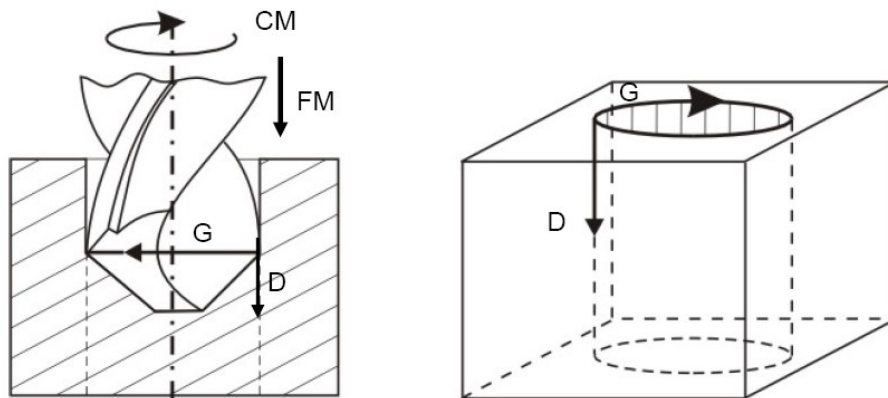


**Figura 4.8** Generatoarea la prelucrarea danturilor prin generare [GRO 07]



**Figura 4.9** Mișcările sculă-semifabricat și G & D la frezarea profilată [GRO 07]

Pentru prelucrarea alezajelor pe mașini de găurit, atât mișcarea de așchiere cât și avansul sunt efectuate de scula așchietoare, de ex. burghiul, în timp ce semifabricatul rămâne staționar. Acest lucru este arătat în figura 4.10. G și D sunt corelate cu scula așchietoare astfel:  $G - CM - T - Tr$ ,  $D - FM - W - Tr$ . În ceea ce privește scula, semifabricatul, G și D, acestea sunt identice la lărgire, alezare și la găurire.



**Figura 4.10** Mișcările sculă-semifabricat și G & D la găurire [GRO 10]

### 4.3.3 Comanda mașinilor-unelte

Pentru **obținerea mișcărilor** dorite ale **semifabricatului** și ale **suclei** și a forțelor de așchiere, mașinile-unelte sunt comandate de **motoare electrice** și prin utilizarea unor **mecanisme**, cum ar fi transmisii cu curele, angrenaje cu roți dințate, etc. În cazul unora dintre mașinile-unelte, mișcările suclei și ale semifabricatului pot fi obținute, de asemenea, prin **acționare hidraulică**. Mașinile-unelte asigură, de regulă, obținerea unei game largi de viteze de așchiere și de avansuri pentru a permite:

- prelucrare diferitelor tipuri de piese
- utilizarea unor scule așchietoare diferite (din punct de vedere al materialelor, geometriei, dimensiunilor)

- realizarea a diverse operații de prelucrare, cum ar fi strunjirea cu mare viteză până la filetarea cu viteze mici
- nivelul de finisare dorit al suprafeței prelucrate.

Comanda mașinilor-unelte poate asigura:

- **reglajul în trepte**
- **reglajul continuu.**

Unitățile de comandă care asigură **reglajul în trepte** sunt foarte frecvente în cazul mașinilor-unelte convenționale, caz în care un număr discret de viteze și avansuri sunt disponibile, de preferință, în serii cu progresie geometrică (GP). Mașinile-unelte moderne CNC sunt însă prevăzute cu unități de reglare continuă, astfel încât să permită alegerea optimă și controlul flexibil automat al vitezelor și avansurilor. Reglarea în trepte este realizată prin utilizarea cutiilor de viteze, împreună cu sursa de alimentare.

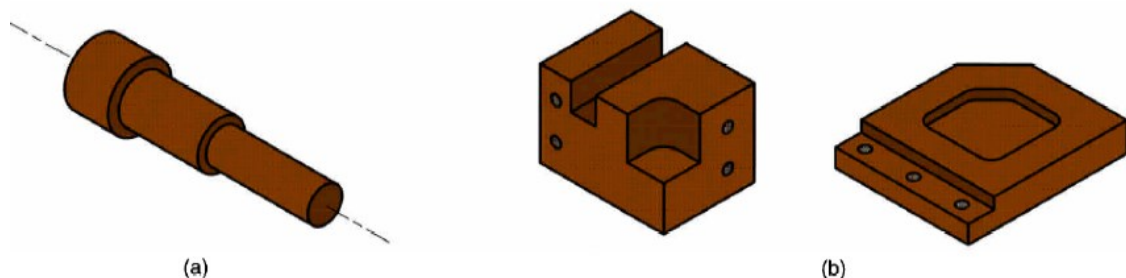
**Reglajul continuu** se realizează de obicei prin:

- motoare de curent continuu sau alternativ cu viteze variabile
- servomotoare
- echipamente de putere hidraulice.

#### 4.4 Clasificarea pieselor prelucrate prin așchiere

Așchiera este un procedeu de îndepărtare a materialului, în care un o sculă cu muchii așchietoare este folosită pentru a îndepărtarea mecanică a materialului, astfel încât să rezulte piesa cu geometria dorită. Piese prelucrate pot fi clasificate în **piese de revoluție și piese non-rotaționale** (Figura 4.11).

**O piesă de revoluție** are formă **cilindrică** sau formă de **disc**. Operația caracteristică prin care se poate obține această geometrie este una în care o sculă așchietoare îndepărtează materialul de pe un semifabricat cilindric. Exemplele includ strunjirea și alezarea. Găurirea este similară cu excepția faptului că este creată o suprafață cilindrică interioară și, în cele mai multe operații de găurire, scula execută mișcarea de rotație (mai degrabă decât semifabricatul).



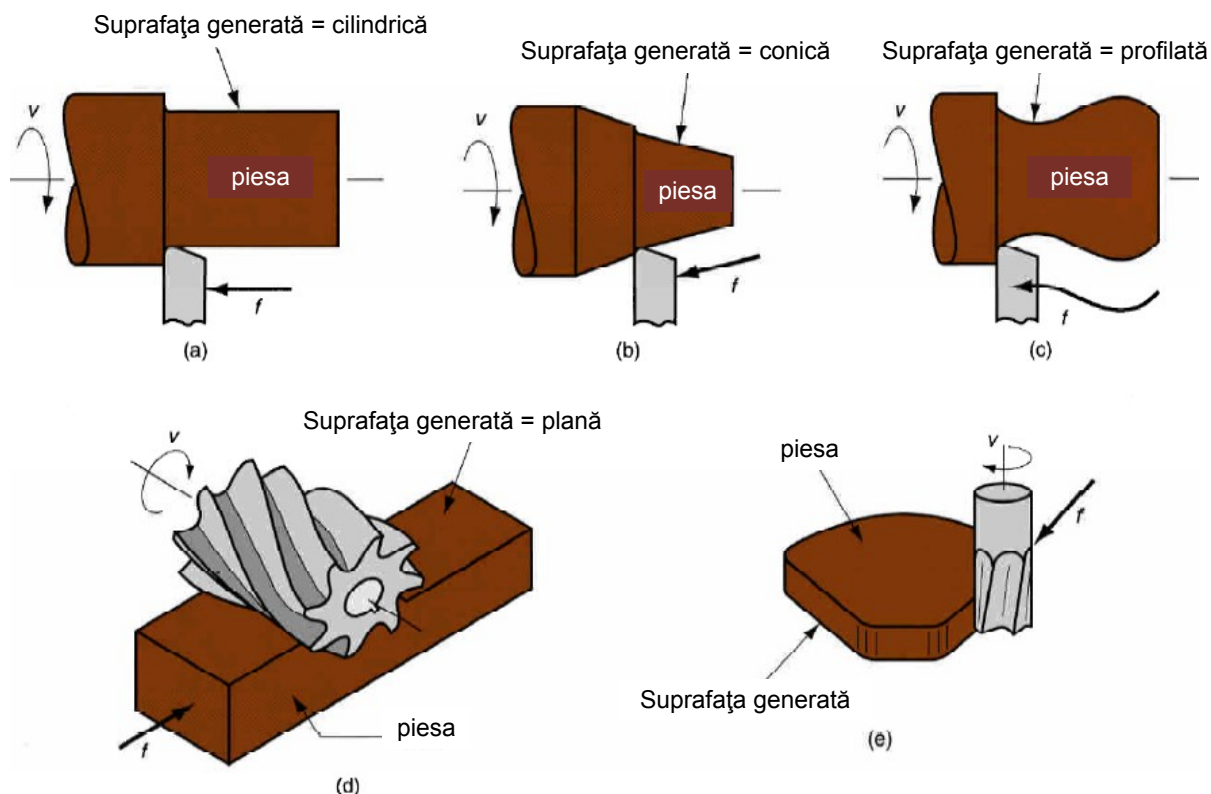
**Figura 4.11** Clasificarea pieselor prelucrate prin așchiere [GRO 07]

**O piesă non-rotațională** (numită de asemenea, **prismatică**) este cea care are aspectul unui bloc sau al unei plăci, așa cum se arată în figura 4.11 (b). Această geometrie se realizează prin mișcarea liniară a

semifabricatului, combinată cu rotația sau mișcările liniare ale sculei. Operațiile din această categorie includ: frezarea, planarea, rabotarea și debitarea.

#### 4.5 Generarea și formarea geometriei piesei

Fiecare operație de prelucrare produce o geometrie caracteristică datorită a doi factori: (1) mișcările relative între sculă și semifabricat și (2) forma sculei. Aceste operații pot fi clasificate, după cum geometria piesei este realizată prin **generare** și **formare (copiere)**.



**Figura 4.12** Obținerea formei piesei la așchiere prin generare: (a) strunjire longitudinală, (b) strunjire conică, (c) strunjire profilată, (d) frezare plană și (e) frezare profilată [GRO 07]

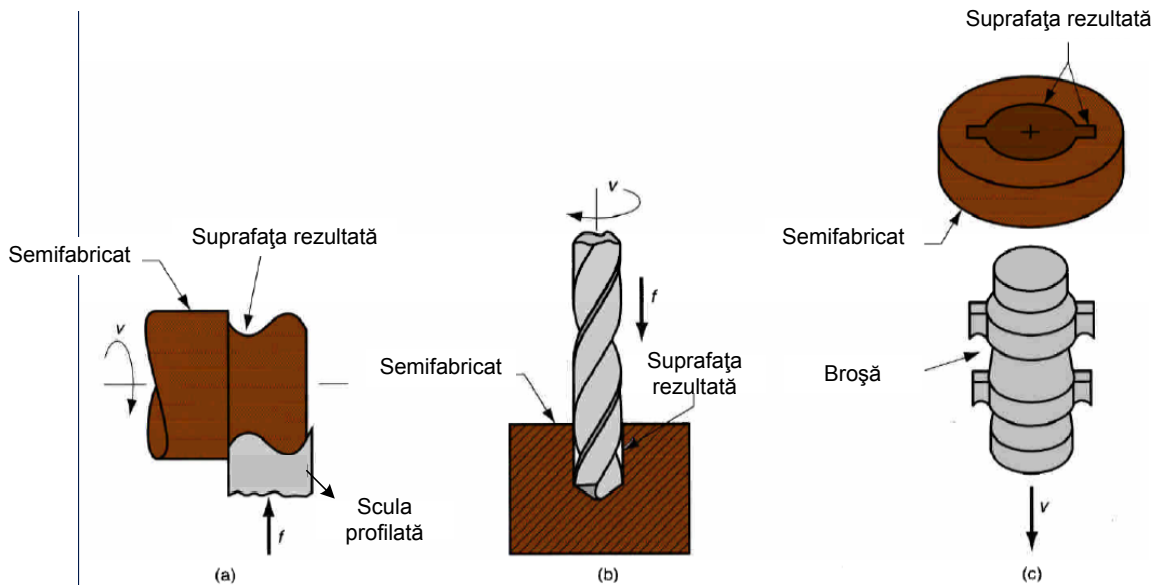
În cazul **generării**, geometria piesei este determinată de traiectoria mișcării de avans a sculei. Traseul urmat de sculă în timpul mișcării sale de avans este imprimat suprafeței semifabricatului pentru a crea forma. Exemple de generare a formei piesei prin așchiere includ **strunjirea longitudinală**, **strunjirea profilată**, **frezare plană** și **a profilurilor**, așa cum este ilustrat în figura 4.12.

La fiecare dintre aceste operații, îndepărtarea materialului se realizează prin mișcarea principală de așchiere, dar forma piesei este determinată de mișcarea de avans. Traiectoria mișcării de avans poate implica variații ale adâncimii sau lățimii de așchiere în timpul operațiilor de prelucrare. De exemplu, la strunjirea profilată și la operațiile de frezare prezentate în figura anterioară, mișcarea de avans determină schimbări ale adâncimii sau lățimii de așchiere.

În cazul **formării (copierii)**, geometria piesei este creată de geometria sculei. De fapt, muchia așchietoare a sculei trebuie să fie complementară formei care urmează să fie reprodusă pe suprafața semifabricatului. Strunjirea profilată, găurirea și broșarea sunt câteva exemple în acest caz. În aceste

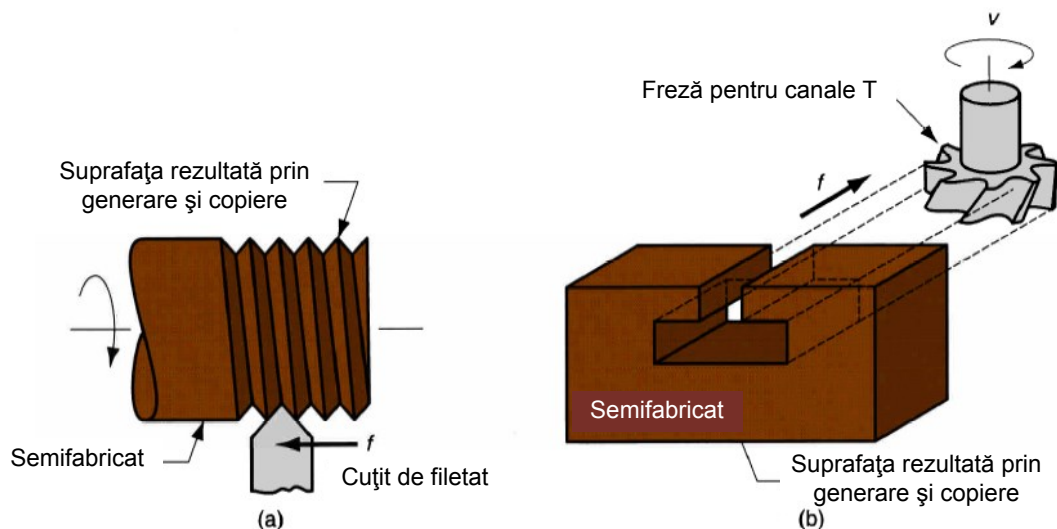
operații ilustrate în figura 4.13, forma sculei este transferată semifabricatului în scopul de a crea geometria piesei.

Condițiile de așchiere în cazul copierii includ, de obicei, mișcare principală combinată cu o mișcare de avans, care este orientată spre semifabricat. Adâncimea de așchiere în această categorie de prelucrări se referă, de obicei, la distanța parcursă în direcția semifabricatului până în momentul în care mișcarea de avans a fost finalizată.



**Figura 4.13** Formarea/Copierea pentru crearea geometriei piesei: (a) strunjire profilată, (b) găurire și (c) broșare [GRO 07]

Formarea (copierea) și generarea sunt uneori combinate într-o singură operație, așa cum este ilustrat în figura 4.14 în cazul filetării prin strunjire și al prelucrării canalelor pe mașina de frezat. În cazul filetării, forma vârfului sculei determină forma profilului filetului, dar viteza de avans mare generează filetul. La prelucrarea canalelor, lățimea de așchiere determină lățimea canalului, dar mișcarea de avans creează canalul propriu-zis.



**Figura 4.14** Combinarea copierii și a generării în crearea formei piesei: (a) filetare pe strung, (b) frezare canale [GRO 07]

## 4.6 Configurația mașinilor-unelte convenționale și utilizarea lor

### 4.6.1 Strungul

Configurația generală a strungului este prezentată în figura 4.15. Părțile sale principale sunt:

- **Batiu.** Batiul este confecționat fie din componente de oțel sudate sau din fontă. Susține greutatea tuturor componentelor, preia forțele din procesul de prelucrare și, prin urmare, trebuie să fie o construcție rigidă. În plus, trebuie să asigure reducerea/amortizarea vibrațiilor în timpul prelucrării. Cadrul și patul mașinii au de regulă o construcție unitară.

- **Păpușa fixă.** Este amplasată aproape la fiecare strung pe partea stângă. Prin lagăre puternice precise, pretensionate și reglabile este ghidat arborele principal, adesea conceput ca un arbore tubular, deoarece influențează în mică măsură stabilitatea dimensională, și permite o alimentare continuă a strungului la prelucrarea din semifabricat bară.

Arborele principal este cuplat la motor prin curele (plate, trapezoidale sau dințate) sau prin angrenaje. Transmiterea cuplului de la arborele principal la semifabricat se realizează prin intermediul diferitelor dispozitive de fixare a semifabricatelor precum universal cu bacuri, mandrine, platouri, etc.

- **Păpușa mobilă și lunetele.** Păpușa mobilă este utilizată pentru a sprijini piese de rotație lungi prin intermediul unui vârf de centrare, care se sprijină în gaura de centrare pe suprafața frontală a piesei de prelucrat. Strungurile convenționale dispun în păpușa mobilă de o pinolă cu con Morse pentru mandrine sau pentru fixarea burghiilor de dimensiuni mari. Cu ajutorul lunetelor se pot sprijini în orice punct de pe lungime piese de rotație subțiri. Se previne astfel îndoirea și deformarea semifabricatului datorită propriei greutate și a forțelor de așchiere.

- **Păpușa fixă:** susține semifabricatul și asigură transmiterea puterii și a mișcării de rotație spre piesă la diferite turații

- **Păpușa mobilă:** sprijină semifabricatele lungi și în unele cazuri permite fixarea unor scule, cum ar fi burghie, alezoare, etc. pentru prelucrarea găurilor.

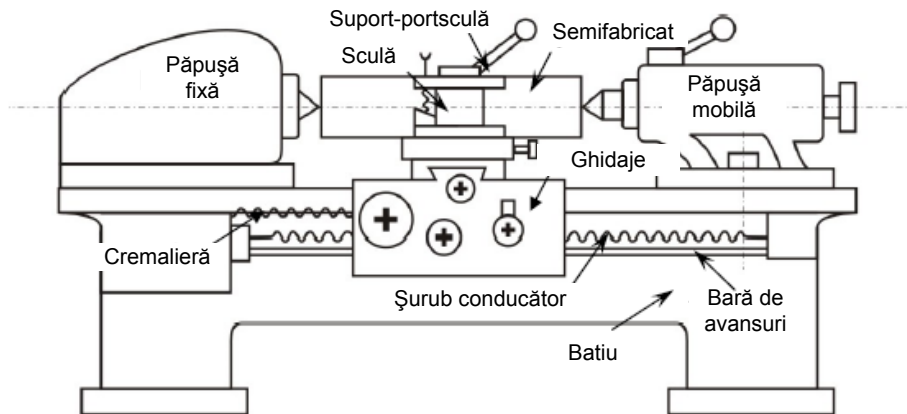
- **Căruciorul:** susține suportul portsculă care, la rândul său permite fixarea sculelor și deplasarea acestora

- **Batiu:** - păpușa fixă este parte integrantă a batiului și păpușa mobilă este fixată pe el. Păpușa mobilă are posibilitatea de a se deplasa pe ghidajele batiului pentru a facilita operații în locații diferite.

- **Căruciorul** se deplasează de asemenea pe ghidajele batiului

- **Placa de bază:** pe care este fixat batiul

- **Dispozitive** de fixare a semifabricatului și sculei

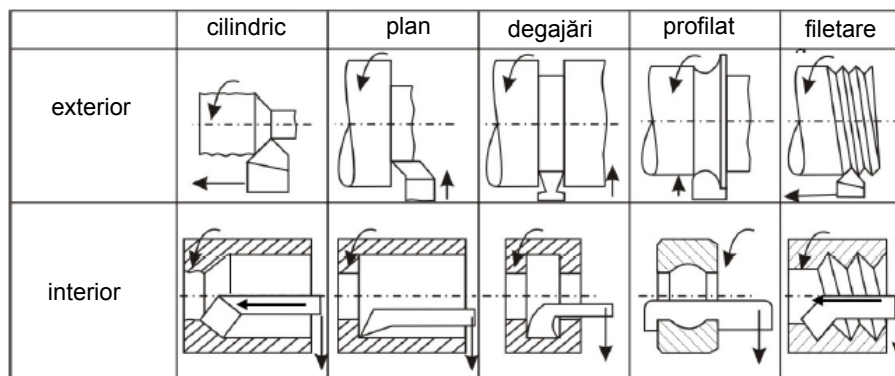


**Figura 4.15** Schema simplificată a unui strung [AWI www]

În ceea ce privește **utilizarea strungurilor**, ele sunt destul de versatile fiind folosite pentru desfășurarea a diferitelor operații:

- strunjire: - exterioară, interioară (cilindrică, conică, în trepte)
- planare, centruire, găurire, prelucrare degajări și retezare
- filetare (exterioară și interioară)

Unele dintre aceste operații obișnuite sunt prezentate în figura 4.16. Multe alte operații pot fi, de asemenea, realizate pe strunguri folosind accesorii adecvate.



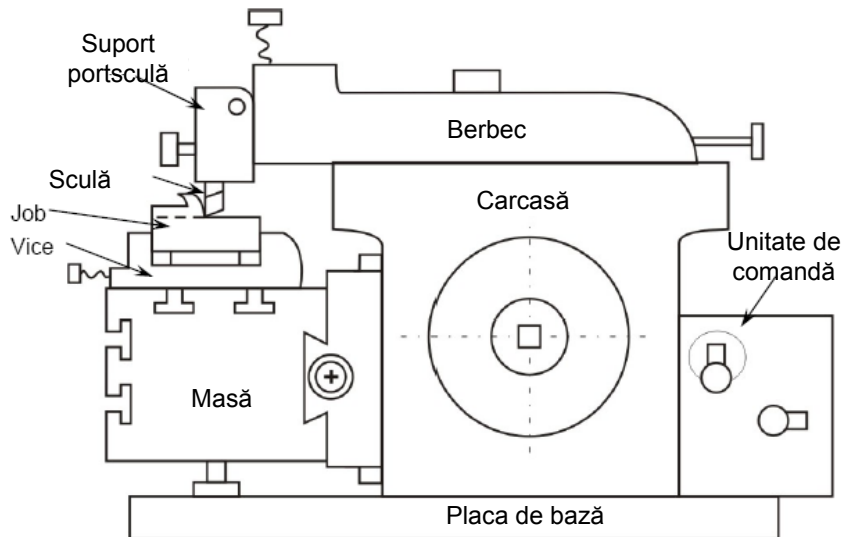
**Figura 4.16** Unele operații de prelucrare obișnuite efectuate pe strunguri [AWI www]

#### 4.6.2 Mașina de rabotat transversal (Șeping)

Figura 4.17 prezintă configurația generală a mașinii de rabotat transversal. Părțile sale principale sunt :

- **Berbec**: susține scula așchietoare și imprimă acesteia mișcarea principală de așchiere

- **Masa (batiu)** : susține semifabricatul și imprimă acestuia mișcările de avans
- **Carcasă cu baza se sprijin**: reprezintă structura de bază a mașinii și conține, de asemenea, mecanismele de acționare.
- **Unitatea de comandă** cu mecanismele de schimbare a vitezei de așchiere și a vitezei de avans.



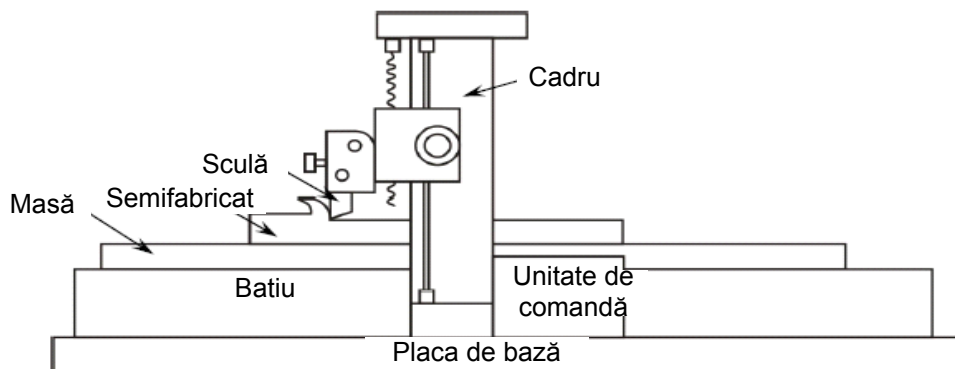
**Figura 4.17** Schema generală a unei mașini de rabotat transversal [AWI www]

Mașinile de rabotat transversal sunt utilizate în general pentru realizarea unor suprafețe plane, canale, operații de debitare, etc. Datorită productivității și capacității scăzute ale procesului de rabotare, aceste mașini-unelte nu mai sunt utilizate în prezent pe scară largă în procesele de producție.

#### **4.6.3 Mașini de rabotat longitudinal**

Configurația generală este prezentată schematic în figura 4.18. Această mașină-unelte permite realizarea aceluiași operații ca și mașina de rabotat transversal, diferențele majore sunt:

- semifabricatul execută mișcarea principală de așchiere iar scula se deplasează lent realizând mișcările de avans, invers în comparație cu rabotarea transversală.
- mașinile de rabotat longitudinal au de obicei dimensiuni foarte mari și sunt folosite pentru prelucrarea unor semifabricate de mari și grele.



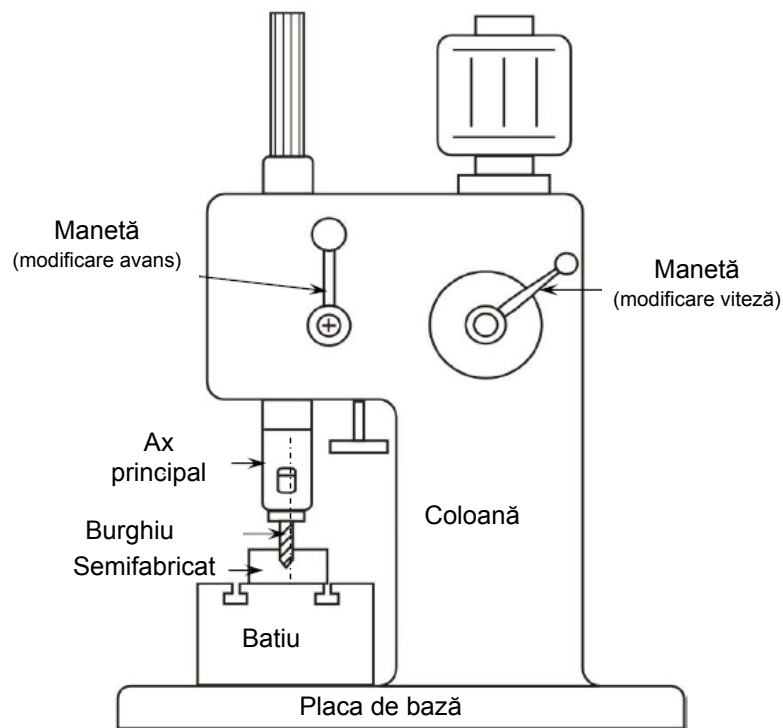
**Figura 4.18** Schema generală simplificată a unei mașini de rabotat longitudinal [AWI www]

#### **4.6.4 Mașina de găurit**

Figura 4.19 prezintă configurația generală a mașinii de găurit, cu particularizare la mașina de găurit cu coloană. Cele mai importante părți componente sunt:



- **Coloana și baza:** acestea reprezintă structura de bază a mașinii și susțin alte componente
- **Cap de găurit:** această structură de tip casetă conține:
- **Unitate de comandă,** cutia de viteze și cutia de avansuri
- **Axul principal:** susține scula (burghiul) și transmite mișcările de rotație și translație axială sculei pentru furnizarea a asigura sculei mișcările de așchiere și de avans.



**Figura 4.19** Schema generală a unei mașini de găurit [AWI www]

Mașinile de găurit sunt disponibile la diferite dimensiuni și în diferite configurații, cum ar fi mașini de găurit cu coloană, mașini de găurit radiale, etc, dar în ceea ce privește principiul de funcționare toate sunt similare. Mașinile de găurit sunt utilizate:

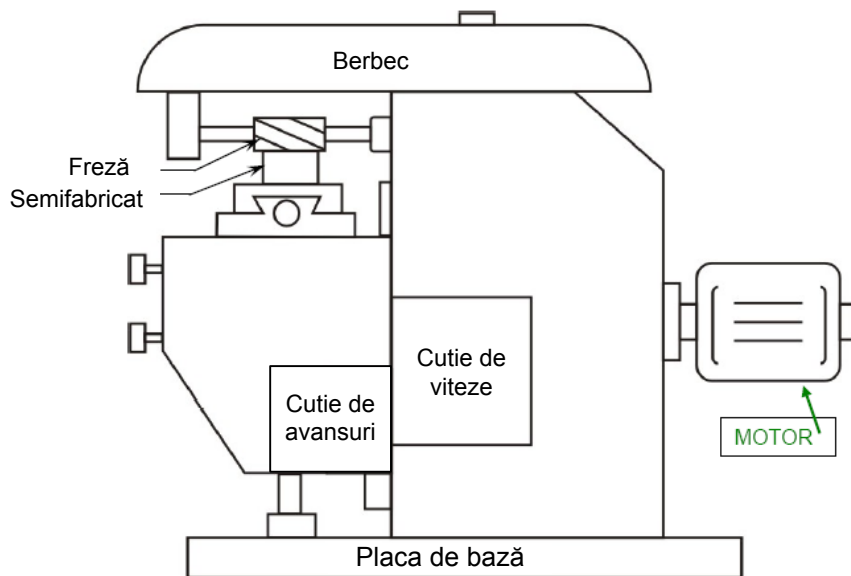
- principal pentru găurire (găurire în plin sau extinderea găurii cilindrice)
- ocazional pentru lărgire, lamare, centrare, etc
- filetare interioară folosind dispozitive adecvate.

#### **4.6.5 Mașina de frezat**

Configurația generală a unei mașini de frezat convenționale cu arbore orizontal este prezentată în figura 4.20. Părțile sale componente principale sunt :

- **Arbore principal** al mașinii de frezat: susține scula așchietoare și imprimă acesteia mișcarea de rotație
- **Berbec:** sprijină arborele principal (axul)

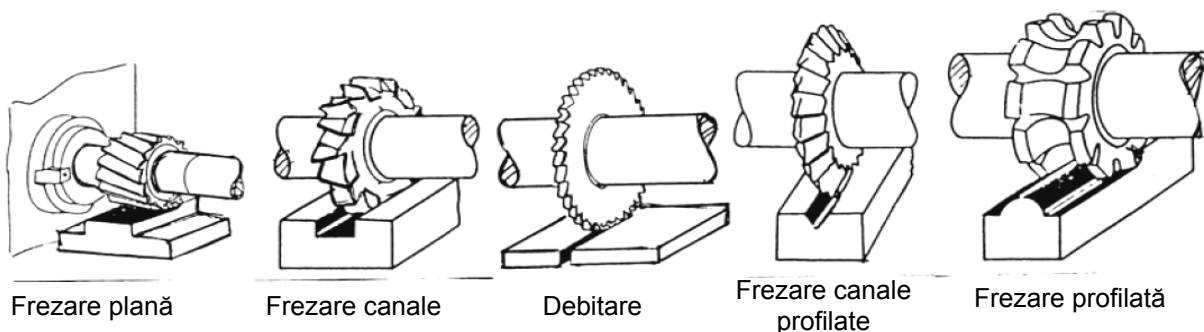
- **Masa mașinii** pe care sunt semifabricatele și/sau montate dispozitive de fixare a semifabricatelor și care asigură mișcările de avans ale semifabricatului.
- **Unitatea de comandă** conține cutiile de viteze și de avansuri care asigură mișcările sculei și semifabricatului
- **Patul** care se mișcă în sus și în jos pe verticală și adăpostește diverse mecanisme de acționare
- **Coloana și placa de bază**: elementele structurale principale ale mașinii care sprijină alte componente.



**Figura 4.20** Schema generală a unei mașinii de frezat [AWI www]

Mașinile de frezat sunt, de asemenea, destul de versatile permițând realizarea mai multor operații, cum ar fi: • prelucrarea suprafețelor plane, •prelucrare canale, debitare și retezare, •prelucrarea canalelor elicoidale, •suprafețe profilate 2-D și suprafețe profilate 3-D.

Figura 4.21 prezintă unele dintre operațiile de frezare menționate anterior.



**Figura 4.21** Operații uzuale de frezare [AWI www]

#### 4.7 Specificații ale mașinilor-unelte

O mașină-unelte poate avea un număr mare de caracteristici diferite. Doar unele caracteristici specifice importante sunt însă utilizate pentru a caracteriza o mașină-unelte. Toți producătorii, comercianții și utilizatorii trebuie să știe care sunt aceste specificații ale mașinilor-unelte. Modul de specificare a caracteristicilor unora dintre mașinile unelte convenționale sunt:

- **Strungul:**

- Diametrul maxim și lungimea semifabricatelor care pot fi prelucrate
- Puterea unității de comandă principale (motor de acționare)
- Gama de viteze
- Gama de avansuri
- Spațiul ocupat de mașină.

- **Mașina de rabotat transversal**

- Lungimea, lățimea și adâncimea patului mașinii
- Deplasarea axială maximă a patului și deplasarea pe verticală a patului/sculei
- Lungimea maximă a cursei (berbec / sculă)
- Numărul de curse duble/ minut
- Gama de avansuri
- Puterea unității principale de comandă
- Spațiul ocupat de mașină

- **Mașina de găurit (cu coloană)**

- Dimensiunea maximă a burghiului (diametrul) care poate fi utilizat
- Dimensiunea și conicitatea a alezajului din arborele principal
- Gama de viteze
- Gama de avansuri
- Puterea unității principale de comandă (motor)
- Deplasarea axială a arborelui principal
- Suprafața ocupată de mașină

- **Mașina de frezat**

- Tipul mașinii
- Dimensiunea mesei de lucru
- Gama de deplasări ale mesei în direcțiile X-Y-Z
- Dimensiunea arborelui principal (diametru)
- Puterea unității principale de comandă (motor)
- Gama de turații
- Gama de avansuri ale mesei în direcțiile X-Y-Z
- Suprafața ocupată de mașină.

**TECHNISCHE UNIVERSITÄT VON CLUJ-NAPOCA**  
FAKULTÄT FÜR MASCHINENBAU  
ABTEILUNG FÜR FERTIGUNGSTECHNIK

# **GRUNDLAGEN DER FERTIGUNGSTECHNIK**

**Doz.Dr.Ing. Domnița FRĂȚILĂ**

**Cluj - Napoca**  
**2019**

# VORWORT

**Grundlagen der Fertigungstechnik** ist ein Buch, das als Unterrichtsmaterial für das Studium der Fertigung bei grundlegender Ebene entwickelt wurde. Es unterstützt die Studenten von mechanischen Spezialisierungen, deren Lehrpläne dieses Fach enthielt.

Die meisten der Inhalt des Buches hängen mit der Fertigungsprozesse zusammen, aber es bietet auch Informationen über die Materialien und Produktionssystemen. Materialien, Prozesse und Systeme sind die drei grundlegenden Bausteine der modernen Fertigung und stellen somit die drei behandelten Bereiche von Interesse in diesem Buch.

Das Buch ist vor allem den Studenten der Maschinenbau Spezialisierung für den Lehrziele gewidmet. Mit ihm werden sich die Studierenden mit den Grundlagen der Fertigungsprozesse vertrauen und ihre folgenden Fähigkeiten üben:

- identifizieren der Notwendigkeit der Fertigungstechnik
- definieren den Begriff: Fertigung
- wichtigste Einteilung der Fertigungsprozesse mit Beispielen
- einstellen der wichtigsten Zwecke der Bearbeitung
- definieren das Konzept, Grundsätze und die wichtigsten Anforderungen der Bearbeitung
- definieren den Begriff Werkzeugmaschinen und einstellen die wichtigsten Funktionen von Werkzeugmaschinen
- beschreiben der grundlegenden Funktionsprinzipien von Werkzeugmaschinen:
  - bestimmen die Konzepten der Erzeugende und Leitlinie bei der Bildung der Teilgeometrie
  - Einstellung der Werkzeug- und Werkstückbewegungen
  - Werkzeugmaschinenantriebe
- verstehen die grundlegende Konfiguration der Werkzeugmaschinen und bekunden ihre Anwendungen
- verstehen die Spezifikation von Werkzeugmaschinen

Die grundlegenden Kenntnisse hierzu vermittelt dies Studienbuch in systematischer und leicht verständlicher Darstellung.

Verfasser

# INHALT

<b>KAPITEL 1. Fertigung. Notwendigkeit und Konzept .....</b>	<b>55</b>
1.1 Was ist die Fertigung? .....	55
1.2 Wirtschaftliche Betrachtungen bei der Auswahl von Fertigungsverfahren.....	59
1.3 Produktion als Wertschöpfungsprozess .....	60
1.4 Strategien der Produktion .....	61
1.5 Elemente des Produktionsprozesses .....	62
1.6 Herstellungsindustrie und Produkterfertigung .....	64
1.7 Produktionsmenge .....	64
1.8 Produktvielfalt (Fertigungsnomenklatur) .....	65
1.9 Fertigungsfähigkeiten .....	66
1.10 Materialien in der Fertigung .....	67
<b>KAPITEL 2. Allgemeine Klassifizierung der Fertigungsverfahren .....</b>	<b>70</b>
2.1 Einteilung der Fertigungsverfahren .....	71
2.2 Verarbeitungsoperationen .....	72
2.2 Montageoperationen .....	77
<b>KAPITEL 3. Produktionsmaschinen und Werkzeuge .....</b>	<b>78</b>
3.1 Maschinen und Werkzeuge .....	78
3.2 Produktionssystem .....	79
3.3 Hilfsproduktionssysteme .....	84
<b>KAPITEL 4. Spanende Fertigung .....</b>	<b>86</b>
4.1 Spanen. Zweck, Prinzip und Definition .....	87
4.2 Anforderungen des Spanens .....	88
4.3 Grundlegende Funktionsprinzipien Werkzeugmaschinenoperationen .....	88
4.3.1 Konzept der Erzeugende und Leitkurve .....	88
4.3.2 Werkzeug- und Werkstückbewegungen .....	89
4.3.3 Werkzeugmaschinenantriebe .....	92
4.4 Einstufung der bearbeiteten Bauteile.....	93
4.5 Erzeugung und Formung der Teilformen .....	94
4.6 Konfiguration von Werkzeugmaschinen und ihre Verwendung .....	96
4.6.1 Drehmaschine .....	96
4.6.2 Stoßmaschine .....	97
4.6.3 Hobelmaschine .....	98
4.6.4 Bohrmaschine .....	99
4.6.5 Fräsmaschine .....	100
4.7 Angaben von Werkzeugmaschinen .....	101

# KAPITEL 1.

## Fertigung. Notwendigkeit und Konzept

### 1.1 Was ist die Fertigung?

Die Fertigung wird von zwei lateinischen Wörtern manus (Hand) und factus (machen) abgeleitet, die Kombination bedeutet "von Hand gemacht" (Made by Hand). "Made by Hand" wurde verwendet, um genau die manuellen Methoden zu beschreiben, bis das englische Wort "Manufacture" (Herstellung) zum ersten Mal um 1567 n.Chr. erfunden wurde. Heutzutage werden die meisten modernen Fertigungsverfahren auf automatisierte und computergesteuerte Maschinen durchgeführt, die manuell von den menschlichen Bediener programmiert und überwacht werden. Die Fertigung ist aus verschiedenen Blickwinkeln zu Bedeutung: **technologisch, wirtschaftlich und historisch.**

#### • Technologisch

Technik kann definiert werden als die Anwendung der Wissenschaft um der Gesellschaft und ihrer Mitglieder die notwendigen oder gewünschten Dingen zu bieten. Sie bietet Produkte, um die Gesellschaft und ihre Mitglieder besser leben zu helfen. Was diese Produkte gemeinsam haben, ist , dass sie alle hergestellt werden. Somit ist die Fertigung der wesentliche Faktor, der die Technik unterstützt.

#### • Wirtschaftlich

Die Fertigung ist ein Mittel, mit dem schafft eine Nation das materielle Reichtum. In USA bildet die Fertigung  $\approx 20\%$  des Bruttosozialprodukts (BSP), Abbildung 1.1.

<b>USA Wirtschaftlichkeit</b>	
Sektor	% BSP
Fertigungsprozesse	20%
Landwirtschaft, etc.	5%
Bauen und öffentliche Dienste	5%
Dienstleistungen – Vertrieb/Absatz, Transport,	70%
Banken, Kommunikation, Bildung, Verwaltung	

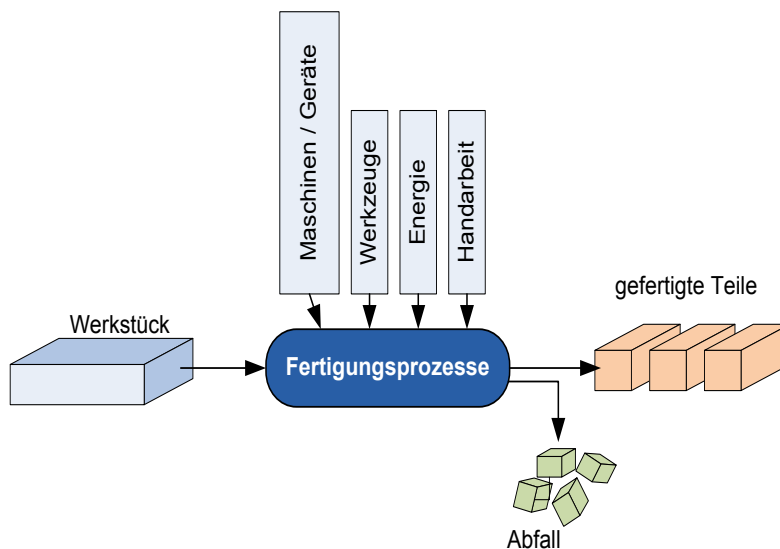
**Abbildung 1.1** Produktion als Beitrag zum BSP [GRO 10]

#### • Historisch

Historisch gesehen, ist die Bedeutung der Fertigung in der Entwicklung der Zivilisation in der Regel unterschätzt. Im Laufe der Geschichte waren erfolgreicher die menschlichen Kulturen, die inovativer auf der Produktenherstellung waren. Bessere Werkzeuge bedeutete besser Kunsthandwerk und Herstellung der besseren Waffen:

- Bessere Handwerk erlaubten der Menschen besser zu leben
- Bessere Waffen erlaubten ihnen, andere Kulturen in Zeiten des Konflikts erobern.

Als Fachrichtung kann **die Fertigung** in zwei Arten definiert werden: **technologisch** und **wirtschaftlich**. **Technologisch** ist die Fertigung die Anwendung der physikalischen und chemischen Prozesse um die **Geometrie**, die **Eigenschaften** und / oder das **Aussehen** eines bestimmten Eingangsmaterials für Teile- oder Produktbearbeitung zu ändern; die Fertigung beinhaltet auch Montage der mehreren Teilen, um Produkte zu machen. Das Fertigung ist fast immer **als Folge von mehrere Operationen** durchgeführt.



**Abbildung 1.2** Produktion als technischer Prozess

Das Fertigungsverfahren beinhaltet die Verwendung einer Kombination von Materialien, Maschinen, Werkzeuge, Geräte, Energie/Kraft und Handarbeit, wie in Abbildung 1.2 dargestellt ist. Jeder Vorgang bringt das Material näher an die gewünschte Endform.

Der Fortschritt und das Gedeihen der menschlichen Zivilisation werden vor allem durch Verbesserung und Erhaltung des Lebensstandards regiert und beurteilt, durch die Verfügbarkeit oder die Produktion von ausreichende und hochqualitative Waren und Dienstleistungen für materielle **Wohlfahrt** der Menschen (MMW) in jeder Hinsicht: Wohnungen, Kleidung, Medizin, Bildung, Transport, Kommunikation und Unterhaltung. Die erfolgreiche Erstellung der MMW hängt vor allem von:

- Verfügbarkeit **natürlicher Ressourcen** (NR)
- Verwendung **menschlicher Anstrengung** (HE); sowohl **körperlich** und **intellektuell**
- Entwicklung und Einsatz von modernen **Werkzeugen**, **Ausrüstungen** und **Maschinen** (WERKZEUGE),

Dies kann in einfacher Form dargestellt werden,

$$MMW = NR \cdot (HE)^{WERKZEUGE} \quad (1)$$

wo: NR bezeichnet Luft, Wasser, Wärme und Licht, Pflanzen und Tiere sowie feste und flüssige Mineralien, WERKZEUGE beziehen sich für Kraftwerke, Chemieanlagen, Stahlwerke, Werkzeugmaschinen usw., die die menschliche Fähigkeit zur Produktherstellung vergrößern.

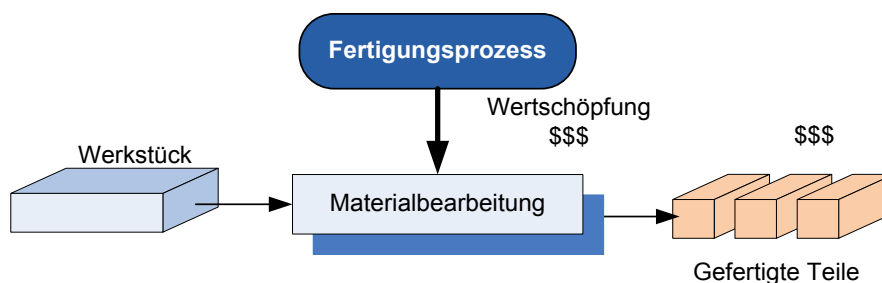


Die Gleichung (1) zeigt deutlich die wichtige Rolle der Komponenten NR, HE und WERKZEUGE auf die MMW Erreichung und auf Fortschritte der Zivilisation.

**Produktion** und **Fertigung** können einfach als **Wertschöpfungsprozesse** beschrieben werden, durch die die Rohstoffe (mit niedrige Nutzen und Wert, aufgrund ihrer unzureichenden Materialeigenschaften und schlechte oder unregelmäßiger Größe, Form und Oberfläche) in hohen gebrauchswertenden Produkte (mit bestimmten Abmessungen, Formen) umgewandelt werden. Diese Eigenschaften vermitteln auch die Funktionsfähigkeit. Ein typisches Beispiel der Fertigung ist schematisch in Abbildung 1.3 gezeigt.

Ein Teil von Baustahl von unregelmäßiger Form, Abmessungen und Oberflächen, die fast keinen Gebrauch und Wert hatte, hat sich durch ein Fertigungsverfahren zu einem nützlichen und wertvollen Produkt (wie Bolzen) umgewandelt. Der Produkt hat die entsprechenden Qualitätsmerkmale, Maßhaltigkeit und Oberflächengüte, die geforderten Fähigkeiten vermitteln die Erfüllung der funktionale Anforderungen.

**Abbildung 1.3** Fertigung als wirtschaftlicher Prozess - Wertschöpfung durch die Fertigung



**Die Fertigung** ist die Umwandlung von Materialien in Produkten von größerem Wert durch eine oder mehrere Verarbeitungs- und/oder Montagevorgänge, wie in Abb. 1.2 gezeigt. Produktion steigert den Wert des Materials durch Veränderung seiner Form oder Eigenschaften oder durch die Kombination mit anderen Materialien, die in ähnlicher Weise verändert wurden. Das Material wurde wertvoller durch die Fertigungsoperationen. Die Wörter **Fertigung** und **Produktion** werden häufig synonym verwendet, aber die Produktion hat eine breitere Bedeutung als Fertigung. Produktionsvorgänge umfassen zwei große Bereiche:

- (a) **Produktion- oder Fertigungsverfahren**
- (b) **Produktionsmanagement**

#### (a) **Fertigungsverfahren**

Diese beziehen sich auf Wissenschaft und Technologie der **effektive, effiziente, wirtschaftliche und umweltfreundliche** **Produktenfertigung** durch:

- Anwendung eines bestehenden Fertigungsverfahrens und System
- Die richtige Auswahl von Einsatzstoffen (Werkstücke), Werkzeuge, Maschinen und Arbeitsumgebungen.
- Verbesserung der vorhandenen Materialien und Prozesse
- Entwicklung von neuen Materialien, Systeme, Prozesse und Techniken.

Alle diese Fertigungsprozesse, Systeme, Techniken müssen:

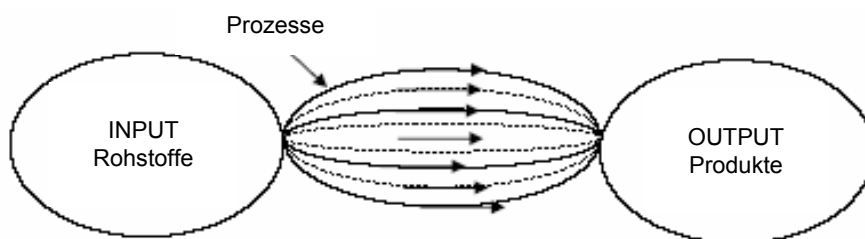
- technologisch akzeptabel
- technisch machbar
- wirtschaftlich tragfähig
- umweltfreundlich.

Fertigungswissenschaft und Technologie wachsen exponentiell zu den wachsenden Anforderungen bezüglich:

- Steigerung und Erhaltung der Produktivität, Qualität und Wirtschaftlichkeit besonderes in Bezug auf die Liberalisierung und die globale Wettbewerbsfähigkeit
- Herstellung von Mikro- und Ultrapräzisionskomponenten für die moderne Elektronik, Computerbereich und medizinische Anwendungen
- Verarbeitung exotischen Materialien, die mit schnellen und großen Aufkommen von Wissenschaft und Technik, wie Luft- und Raumfahrt- und Kerntechnik, entwickelt wurden.

## (b) Produktionsmanagement

Dies ist ebenso wichtig und unerlässlich in der Fertigungstechnik. Es bezieht sich hauptsächlich auf die Planung, Koordination und Kontrolle des gesamten Fertigungsprozesses in profitabelste Art und Weise mit maximale Zufriedenheit der Kunden, durch die optimale Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen wie Menschen, Maschine, Material und Geld. Es kann möglich sein, ein Produkt aus gegebenen spezifischen Materialien und in der gewünschte Konfiguration durch mehreren Prozessen oder technischen Routen herzustellen, wie schematisch in Abb. 1.4 gezeigt ist.



**Abbildung 1.4** Möglichkeit der Produktfertigung in verschiedener Routen

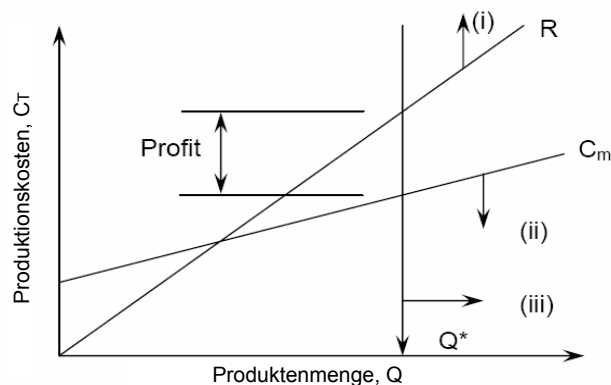
Die verschiedenen Prozessrouten kann unterschiedlich sein, in Bezug auf: Prinzip, Technik, technische Qualität der Produkte, Zeitbedarf und die Fertigungskosten. Das beste ist, die Auswahl auf Grund der klar definierten Kriterien durchgeführt werden. Die Erreichung des Ziels in der Fertigung erfordert die Erfüllung einer oder mehrerer der folgenden Ziele:

- Reduzierung der Fertigungszeit
- Steigerung der Produktivität
- Reduzierung der Herstellungskosten

- Erhöhung des Gewinns oder der Profitrate

Wie in Abbildung 1.5 gezeigt ist, kann der wichtigste und oberste Ziel, zB Erhöhung des Gewinns  $P_r$ , erreicht werden durch:

- Erhöhung der Einnahmen  $R$ , durch Verbesserung der Qualität und Zuverlässigkeit der Produkte
- Reduzierung der gesamten Herstellungskosten  $C_m$
- Erhöhung der Konsumgüterproduktion



**Abbildung 1.5** Strategien der Erhöhung des Gewinns [GRO 07]

Produktionsmanagement integriert und erfüllt alle diese wesentlichen Aktivitäten und es führt zu maximalem Gewinn durch optimale Ausnutzung der Ressourcen und Strategien.

## 1.2 Wirtschaftliche Betrachtungen bei der Auswahl von Fertigungsverfahren

Oft besteht die Möglichkeit, ein bestimmtes Werkstück mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren herstellen zu können. Dadurch stellt sich die Aufgabe, jene Verfahren auszuwählen, mit den eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit (minimaler Aufwand, maximaler Nutzen) unter Beachtung zahlreicher Kriterien und gegebener Randbedingungen zu erreichen ist.

Bei der Verfahrensauswahl ist es wichtig, den ganzen Fertigungsprozess bis zum fertigen Bauteil zu betrachten. Ein Fertigungsverfahren, das losgelöst vom Fertigungsprozess als ungünstig beurteilt wird, kann sich infolge einer geringeren Anzahl von Arbeitsgängen, vor allem bei hohen Stückzahlen, als wirtschaftlicher erweisen. Ein Beispiel für diesen Sachverhalt zeigt Bild 1.6.

Die Wirtschaftlichkeit eines Verfahrens wird in der Regel mit Methoden der Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung beurteilt. Nicht quantifizierbare Kriterien können durch eine Nutzwertanalyse berücksichtigt werden. Der Einfluss der Unsicherheit von angenommenen Randbedingungen (z.B. Rohstoffpreise, Verkaufspreis, Produktionabsatz usw.) sollte mit einer Risiko- und Sensitivitätsanalyse bewertet werden.

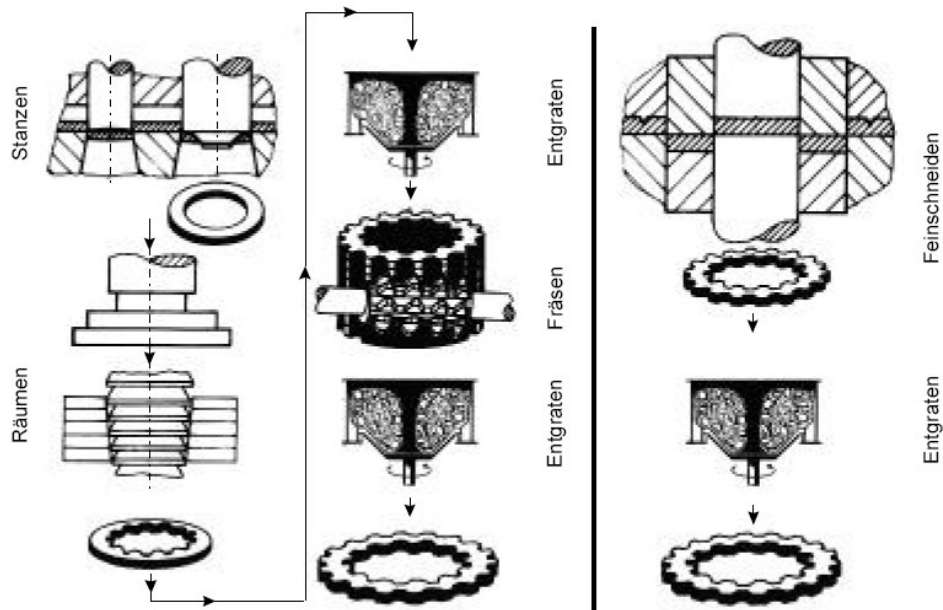


Abbildung 1.6 Verfahrensvergleich bei der Zahnradfertigung [AWI www]

### 1.3 Produktion als Wertschöpfungsprozess

Produktion ist ein Wertschöpfungsprozess. Wertschöpfung entsteht an jedem einzelnen Produktionssystem, wenn aus einfachen oder komplexen Teilen wertgeisterte Teile erzeugt werden (Abb 1.7). An der Wertschöpfungskette sind verschiedene **Betriebe, Abteilungen und Personen** beteiligt. Nicht alle Teilprozesse der Wertschöpfung werden an demselben Ort ausgeführt. In vielen industriellen Bereichen ist vielmehr eine internationale Arbeitsteilung zu beobachten, bei der einzelne Glieder der Wertschöpfungskette auf verschiedene Länder und Industriebetriebe verteilt sind.

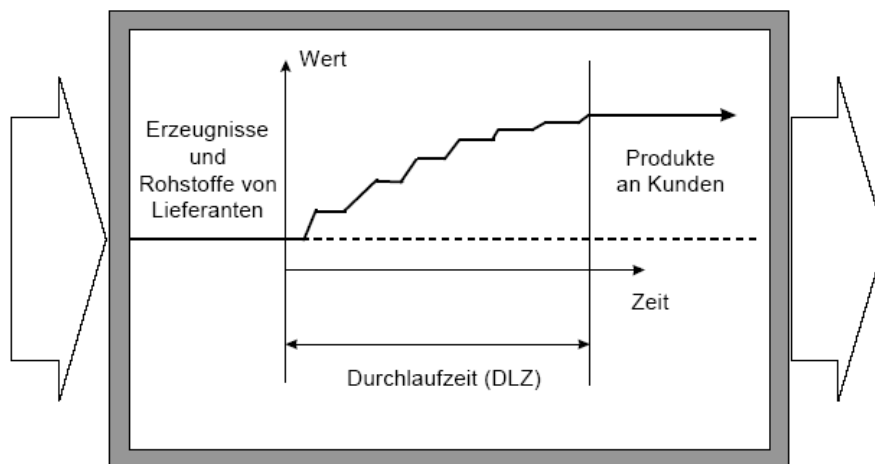


Abbildung 1.7 Produktion als Wertschöpfungsprozess [WES 01]

Unternehmen folgen langfristig dem Unternehmensziel, Gewinne zu erwirtschaften. Wertschöpfung kann jedoch nur erreicht werden, wenn die Zielgrößen bezüglich der **Zeit, Kosten und Qualität** erfüllt werden.

Die Vielzahl von Einzelschritten in der Produktion benötigt jeweils eine bestimmte Zeit zu ihrer Ausführung. Je schneller diese zeitliche Wegstrecke (Durchlaufzeit) überwunden wird, desto mehr Wertschöpfung kann mit den verfügbaren Produktionsressourcen erzielt werden. Durch geeigneten Maßnahmen (z.B. höhere Automatisierung) kann der Wertschöpfungsprozess beschleunigt werden. Die allgemeine Forderung nach einer Minimierung der Produktionskosten lässt sich durch eine alternative Formulierung des Wirtschaftlichkeitsprinzips erfassen. Die Produktqualität und die daraus resultierende Kundenzufriedenheit sind entscheidende Wettbewerbsfaktoren. Sie äußert sich in geringen Ausschuss-raten und vor allem in Funktionalität, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der erzeugten Produkte.

### 1.4 Strategien der Produktion

Ein wesentliches Unternehmensziel ist die Sicherung des Unternehmensfortbestandes und damit die langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit am Markt. Die Unternehmenszielsetzungen werden mit Hilfe der strategischen Unternehmensplanung verfolgt. Diese ist vorwiegend auf die zukünftige Märkte, die Anforderungen an zukünftige Produkte und die Strategien zur Absicherung des Unternehmenserfolges ausgerichtet. Die Unternehmensstrategie muss in den einzelnen strategischen Geschäftseinheiten durch die geeigneten Funktionalstrategien, die Markt-, Produkt-, Produktentwicklungs- und die Produktionsstrategie konsequent umgesetzt werden.

Damit einher geht die Überzeugung, dass die unternehmerischen Stärken nach wie vor im Aufbau erfolgreicher Produktpositionierung auf den Märkten bestehen, diese jedoch vorab durch das Potential an verfügbaren Technologien bestimmt werden. Die Produktionstechnologien haben dabei nicht nur die Aufgabe, die Produkttechnologien zu ermöglichen, sondern besitzen ein eigenes Potential zur Wettbewerbsbeeinflussung. Eine Vernachlässigung der Entwicklung von Produktionsstrategien kann sogar dazu führen, dass die Möglichkeiten und Potentiale der Produktion in der Produktentwicklung nicht ausreichend genutzt werden und technologische Synergien zu spät erkannt werden.

Weiter muss die Entwicklung der Produktion mit der Produktentwicklung zeitlich synchronisiert werden. Die Synchronisation ist besonders dann von hoher Bedeutung, wenn in der Produktion Veränderungen der Technologien vorgenommen werden müssen, welche die Strukturen der Produktion nachhaltig verändern. Eine durchgängige Methodik bei der strategischen Planung von Maßnahmen für die Produktion beschreibt das Bild 1.8.

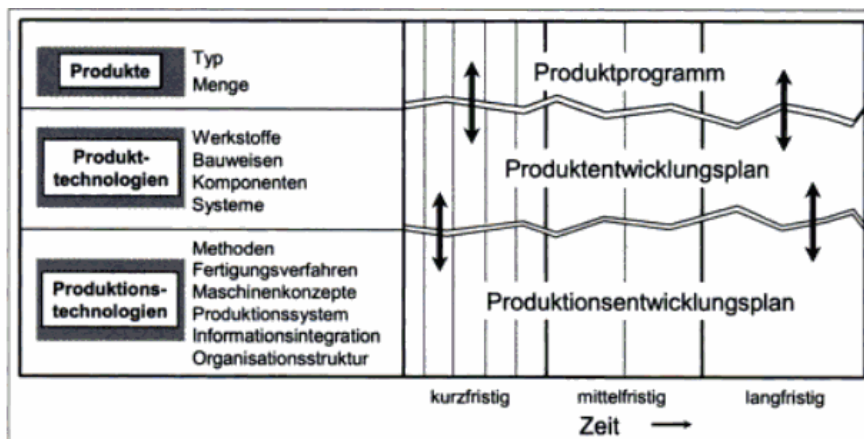


Abbildung 1.8 Fertigungskalender [WES 01]

Auf der Basis der Einführungszeitpunkte der einzelnen Produkte verknüpft der Technologiekalender die Phasen der Produktentwicklung mit den Phasen der Entwicklung von Produktionstechnologien. Die Maßnahmen wirken in der Regel mittel- bis langfristig und haben einen erheblichen Einfluss auf die Produktionskapazitäten, die Beschäftigung den Personalbedarf und die erforderliche Personalqualifikation. Sie erfordert eine rechtzeitige Bereitstellung von Investitionen für technische Entwicklungen, Maschinen und Systeme.

### 1.5 Elemente des Produktionsprozesses

Unter dem Blickwinkel der Produktherstellung lassen sich innerhalb des Produktionssystems die Einzelsystemteile **Beschaffung, Produktion und Vertrieb (Absatz)**, die sowohl planende, durchführende und kontrollierende Teilbereiche beinhalten, eindeutig gegeneinander abgrenzen.

Der Produktionsystem (Bild 1.9) beginnt bereits mit der **Entwicklung**. Diese erfolgt nach einer Marktstudie, welche die Marktsituation analysiert sowie den Bedarf und die Kundenwünsche erfasst. Die gleichzeitige Ermittlung des Standes der Wissenschaft und der Technik klärt, ob Arbeiten in Forschung und Entwicklung erforderlich sind. Die Produktdefinition legt die Funktionen, die Anforderungen, die Qualität, den Preis und sonstige Randbedingungen in einem technisch-wirtschaftlichen Pflichtenheft fest.

Die Umsetzung der einzelnen Punkten des Pflichtenheftes zu einer für die Fertigung geeigneten Information (z.B. technischen Zeichnung) ist die Aufgabe der Konstruktion. Die **Konstruktion** umfasst den Entwurf, die Werkstoffauswahl sowie die funktions- und fertigungsgerechte Gestaltung der Werkstücke und hat damit einen entscheidenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Produktionsprozesses.

Die **Planung der Produktion** ist für die rechtzeitige Bereitstellung aller für die Produktion erforderlichen Einrichtungen verantwortlich. Die **Beschaffung** stellt Zukaufteilen, Werkstoffen, Betriebsmittel und –stoffen sowie von Energie bereit. In der Arbeitsvorbereitung werden die Fertigungsverfahren für ein Bauteil ausgewählt und die fertigungstechnischen Unterlagen erstellt (Arbeitspläne). Die Arbeitssteuerung (Produktionsplanung und –steuerung, PPS) gewährleistet den störungsfreien Informations- und Materialfluss.

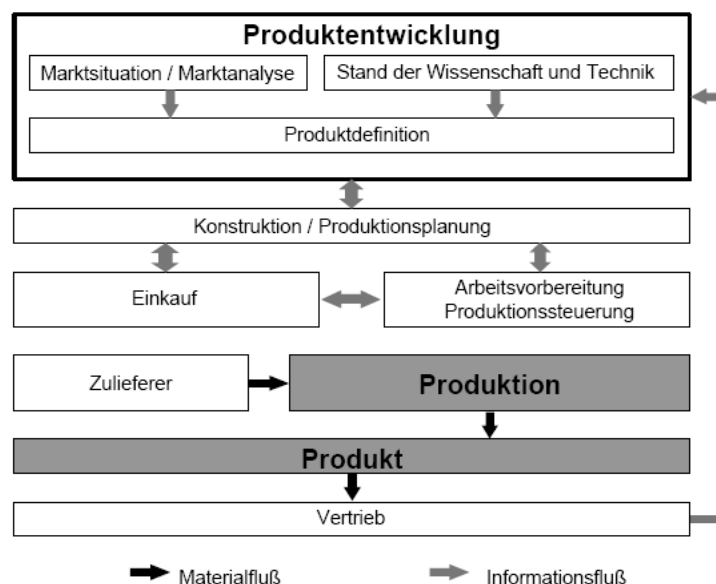


Abbildung 1.9 Schematische Darstellung des Produktionsprozesses [AWI www]

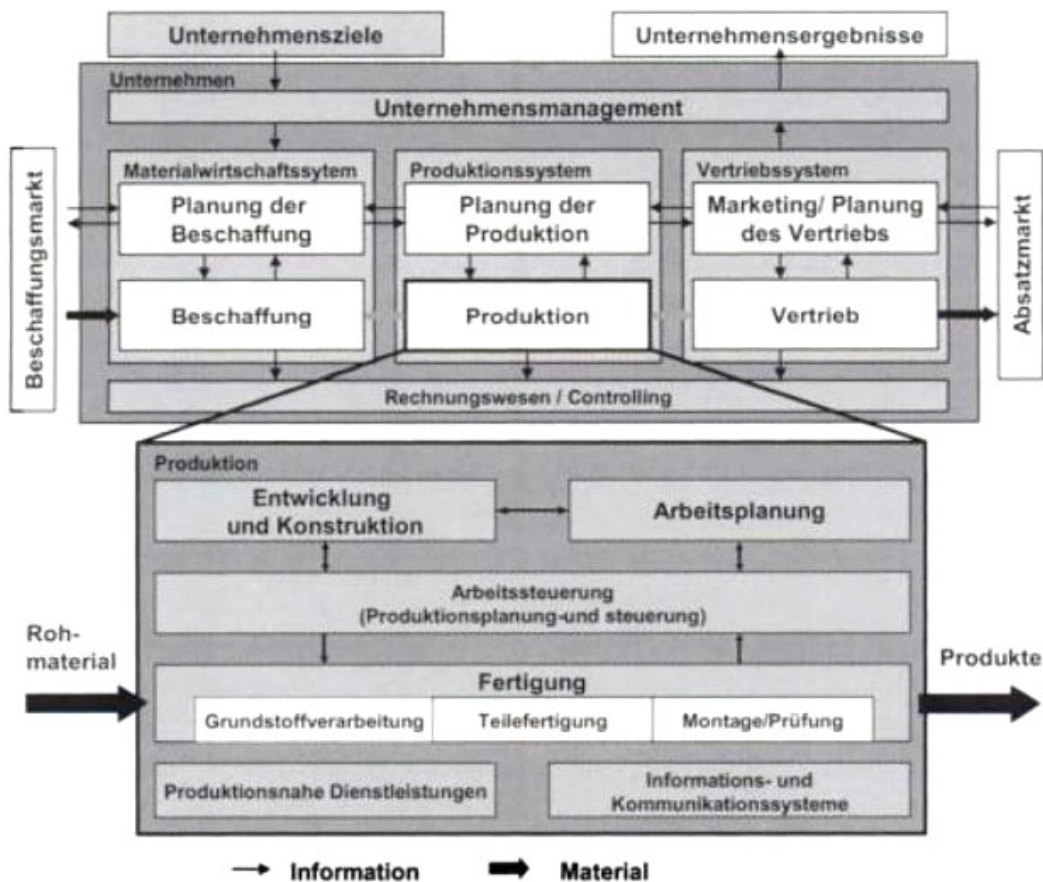
**Die Grundstoffverarbeitung** umfasst alle verfahrenstechnischen Prozesse zur chemischen und physikalischen Veränderung von formlosen Stoffen und stellt damit die Werk- und Betriebsstoffen für die Fertigung zur Verfügung.

**Die Fertigung** im engeren Sinne umfasst die Teilefertigung, die Montage und die Prüfung von Teilen. In der Fertigung erhalten die Einzelteile ihre geometrisch bestimmte Gestalt und weitere vorgegebene Eigenschaften, wie z.B. bestimmte Festigkeitskennwerte und Oberflächenbeschaffenheiten. Die so gefertigten Teile werden in der Montage zu komplexen Teile (Baugruppen, Produkten) zusammengefügt.

Die einzelnen Fertigungs- und Montageschritte bis zum gefertigten Produkt werden als Produktionsstufen bezeichnet. Die **produktionsnahen Dienstleistungen** gewährleisten den Produktionsprozess. Hierzu gehören die innerbetriebliche Logistik und die Instandhaltung.

**Der Vertrieb** schließlich übernimmt die Auslieferung der Produkte an die Kunden und den Kundenservice. Durch die Kundenähe liefert das Marketing wichtige Informationen für die Produktentwicklung.

Die Aufgabe des Produktionsprozesses ist die Umwandlung von Rohmaterial und Halbzeugen in Fertigteile oder Produkte unter Einsatz vorhandener Produktionsressourcen (Bild 1.10).



**Abbildung 1.10** Elemente eines Produktionssystems [WES 01]

Für diesen Prozessablauf müssen Arbeitsräume, Energie, Informationen bereitgestellt werden. Die Roh-materialien und Halbzeuge gehen zusammen mit den Faktoren Informationen und Energie direkt in das Produkt über. Die unmittelbar am Produktionsprozess beteiligten Produktionsfaktoren sind Fertigungsmittel sowie Mess-, Lager- und Transporteinrichtungen. Zu ihrer Nutzung wird das entsprechende Personal eingesetzt.

## 1.6 Herstellungsindustrie und Produkterfertigung

Die Fertigung ist eine wichtige industrielle Tätigkeit. Die Art der Produktion von einem Unternehmen hängt von der Art der hergestellten Produkten ab. Zum Beispiel, ist die Fertigung wie eine gewerbliche Tätigkeit betrachtet in Fall von Unternehmen, die ihre Produkte/Waren an den Kunden verkaufen.

Industrie besteht im Allgemeinen aus Unternehmen und Organisationen, die Waren und Dienstleistungen produzieren oder liefern. Industrien können wie folgt eingestuft:

1. **Primäre Industrie** - die mit der Schaffung und Nutzung von natürlichen Ressourcen, z. B. Landwirtschaft und Bergbau befasst;
2. **Sekundäre Industrie** - nehmen die Ausgänge/Produkte der primäre Industrie und wandeln sie in Konsum- und Investitionsgüter - Fertigung ist die Haupttätigkeit;
3. **Tertiäre Industrie** –besteht aus Dienstleistungssektor der Wirtschaft.

Die meisten sekundären Industrien sind Unternehmen, die mit der Fertigung zu tun haben, andere mit der Bau- und Stromerzeugung. Allerdings enthält Fertigung mehrere Branchen, deren Produktionstechnologien nicht in diesem Kurs behandelt sind, z.B. Bekleidung, Getränke, Chemikalien und Lebensmittelverarbeitung, usw. Für unsere Zwecke bedeutet Fertigung die Herstellung von industriellen Produkten (z.B. Schrauben und Bolzen) bis komplexen Produkte (z.B. Werkzeugmaschinen, Haushaltsgeräte), darunter Erzeugnissen/Teile aus Holz, sowie Kunststoffe oder Keramik.

Die **Endprodukte (hergestellte Produkte)** von der obengenannten Industrien können in zwei große Klassen eingeteilt werden: **Konsumgüter** und **Investitionsgüter**. **Konsumgüter** sind Produkte, die direkt von den Verbrauchern (z.B. Autos, Fernseher, Bälle, etc.) gekauft sind. **Investitionsgüter** sind Produkte, die von anderen Unternehmen gekauft werden, um Waren -oder Dienstleistungen (z.B. Flugzeuge, Eisenbahn, Werkzeugmaschinen , Baumaschinen , etc.) zu produzieren/liefern.

Weitere verarbeitete Produkte sind **Materialien, Komponenten** und **Verbrauchsmaterialien**, die von dem Unternehmen eingesetzt werden, um die Endprodukte zu herstellen. Beispiele für solche Elemente sind: Stahlbleche, Stahlstangen, Kunststoff-Formteile und Profile, Werkzeuge, Matrizen, und Schmierstoffe. So bestehen die Fertigungsindustrien aus einer komplexen Infrastruktur mit verschiedenen Arten und Ebenen der Zwischenlieferanten, mit denen der Endkunde nie befasst/interagiert.

## 1.7 Produktionsmenge

Die Menge der in einer Fabrik hergestellten Produkte **Q** hat einen wichtigen Einfluss auf die Art und Weise ihrer Verfahren, Einrichtungen und Mitarbeiter organisiert sind. Jährliche Produktionsmengen können in drei Bereiche eingeteilt werden:



**Tabelle 1.1**

Produktionsprogramm	Jährliche Menge, $Q$
Niedrige Produktionsmenge	1 bis 100 Einheiten
Medium Produktion	100 bis 10.000 Einheiten
Hohe Produktion	10.000 bis Millionen von Einheiten

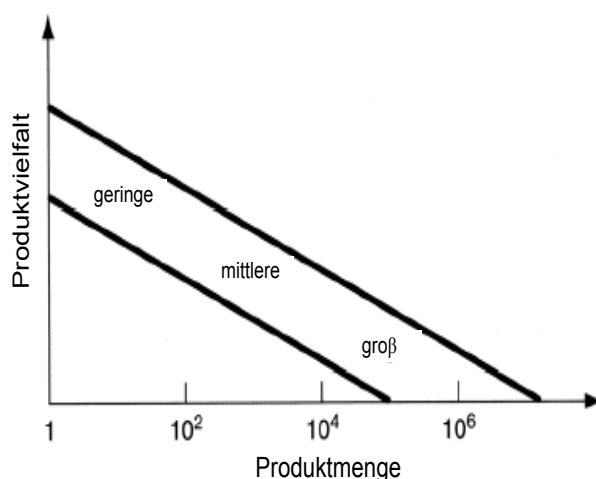
Die Grenzen zwischen diesen drei Bereichen sind etwas willkürlich (arbiträr). Abhängig von der hergestellten Produktenart, können diese Grenzen durch eine Größenordnung verändert werden. Produktmenge bezieht sich auf die jährliche Anzahl der Einheiten von einem bestimmten Produkttyp. Einige Unternehmen produzieren eine Vielzahl von verschiedenen Produkttypen (große Fertigungsnomenklatur), wobei jeder Typ in niedriger oder mittlerer Menge hergestellt ist. Andere Unternehmen sind in der Herstellung eines einzigen Produktspezialisiert. Es ist lehrreich und nützlich die Art des Produktes als separate Parameter von Produktmenge zu identifizieren.

### 1.8 Produktvielfalt (Fertigungsnomenklatur)

Produktvielfalt  $P$  bezieht sich auf verschiedene Produkttypen, die in der Fabrik produziert werden. Produktvielfalt unterscheidet sich von Produktionsmenge. Unterschiedliche Produkte haben unterschiedliche Formen und Größen, sie sind für verschiedene Märkte bestimmt, einige haben mehrere Komponente/Teile als andere.

Die Anzahl der verschiedenen Produktarten, die jährlich eine Fabrik herstellt, kann gezählt werden. Wenn die Anzahl der Produkttypen in der Fabrik hoch ist, deutet dies auf hohe Produktvielfalt.

Zwischen Produktvielfalt  $P$  und Produktionsmenge  $Q$  in der Fabrik besteht eine inverse Korrelation, wie in Abbildung 1.11 dargestellt ist. Wenn  $P$  einer Fabrik hoch ist, dann dürfte  $Q$  gering sein, und wenn  $Q$  hoch ist, dann dürfte  $P$  gering sein.



**Abbildung 1.11** Beziehung zwischen Produkt- Vielfalt und Produktionsmenge [GRO 10]

Obwohl  $P$  ist eine quantitative Größe, ist sie weniger genau, weil dieser Parameter keine Information über die Unterschiede in der Gestaltung von verschiedenen Produkten enthielt. Dies wird durch die Anzahl der verschiedenen Arten von Produkten nicht mitgeteilt. In der Praxis trifft es zwei Situationen:

- **begrenzte Produktvielfalt** - kleine Unterschiede zwischen den Produkten, z.B. Unterschiede zwischen Auto-Modelle auf der gleichen Produktionslinie, wo die hergestellten Modelle eine Reihe von gemeinsamen Teile enthalten.
- **hohe Produktvielfalt** - Produkte unterscheiden sich erheblich und haben nur wenige gemeinsame Komponenten (Teile), z.B. der Unterschied zwischen einem Auto und einem LKW.

## 1.9 Fertigungsfähigkeit

Eine Fabrik, deren Tätigkeit auf die Produktion sich konzentriert, besteht aus einer Reihe von Prozessen und Systemen (und Menschen, natürlich), die entworfen wurden, um eine Reihe von Materialien in Produkte mit höheren Wert umzuwandeln. Die drei Grundelemente (Materialien, Prozesse und Systeme) sind die Essenz der modernen Fertigung. Fertigungsfähigkeiten beinhaltet:

- **technologische Bearbeitungskapazität**
- **physikalische Einschränkungen im Produktherstellung**
- **Produktionskapazität.**
- **Technologische Bearbeitungskapazität** könnte als eine Reihe von in der Fabrik verfügbare Fertigungsprozessen beschrieben werden. Bestimmte Herstellungsprozesse sind auf bestimmte Materialien geeignet. Das bedeutet, dass durch die Spezialisierung auf bestimmte Prozesse, wird die Fabrik auch bei der Verarbeitung von bestimmten Arten von Materialien spezialisiert. Technologische Verarbeitungskapazität beinhaltet nicht nur die physikalischen Prozesse, sondern auch die Fachkenntnisse des Personals / der Mitarbeiter.
- **Physikalische Produkteinschränkungen.** Ein zweiter Aspekt der Fertigungsmöglichkeiten ist durch den physikalischen Produkt erfordert. Eine Fabrik, die eine Reihe von Prozessen hat, ist auf die Größe und das Gewicht der Komponenten oder Produkte, die bearbeitet werden können, begrenzt. Die Produktgeometrie, -größe und -gewicht beeinflussen:
  - Produktionsanlagen
  - Ausrüstung für Handhabung und Transport der Teile (z.B. Stapler).

Die Produktions- und die Handhabungsanlagen für Materialien und Komponenten und die Fabrikgröße sollten für die Verarbeitung einer **bestimmten Produktpalette** gestaltet werden, die innerhalb bestimmter Grenzen in Bezug auf Größe und Gewicht liegen.

- **Produktionskapazität.** Eine dritte Einschränkung auf Fertigungsfähigkeiten eines Unternehmens ist die Produktionskapazität, und zwar die Produktmengen, die in einem bestimmten Zeitraum (z.B. ein Monat oder ein Jahr) hergestellt werden können. Bekannt unter der Bezeichnung die Fabrikkapazität, oder Produktionskapazität, wird dieses Konzept als die maximale Produktionsrate definiert, die eine Fabrik unter angenommen Betriebsbedingungen durchführen kann.

**Die Betriebsbedingungen** beziehen sich auf der Anzahl der Schichten pro Woche, Anzahl der Arbeitsstunden pro Schicht, Anzahl der Arbeitern und Mitarbeiter, und so weiter. Diese Faktoren stellen sich

als Eingänge der Produktionsstätte. Die Fabrikkapazität wird in der Regel in Bezug auf die **Produktioneinheiten** gemessen, wie Tonnen von Stahl oder Anzahl der Teile/Stücke. In diesen Fällen sind die Ausgangeinheiten homogen. Im Fall, wo diese Ausgänge nicht homogen sind, können andere Einheiten mehr geeignet sein, damit die Produktionskapazität zu beurteilen, wie z.B. verfügbare Arbeitsstunden in einer Maschinenhalle, wo eine Vielzahl von Teilen produziert wird.

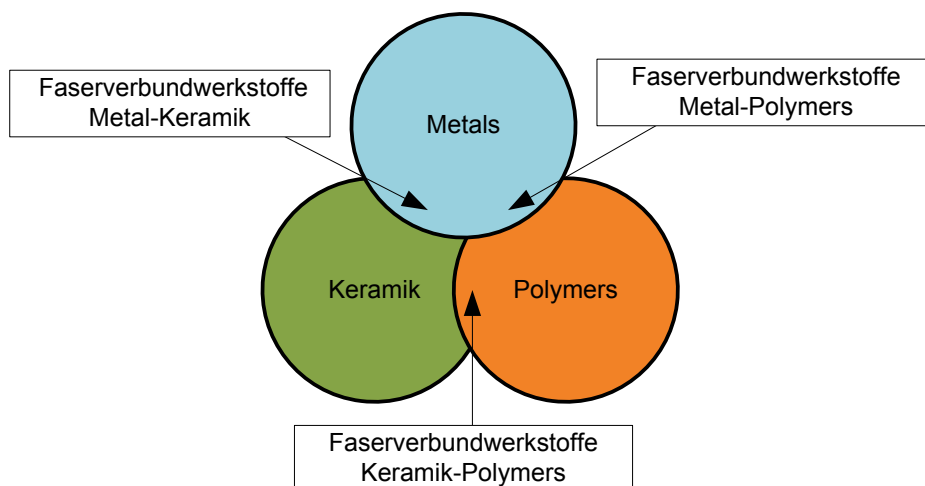
## 1.10 Materialien in der Fertigung

Die meisten in der Fertigung verwendeten Werkstoffe können in drei Kategorien eingestuft werden (Abbildung 1.12):

1. **Metalle**
2. **Keramik**
3. **Polymere (Kunststoffe)**

Nicht nur die chemische Zusammensetzung sondern auch ihre mechanischen und physikalischen Eigenschaften verschieden sind. Diese Unterschiede betreffen auch die Herstellungsverfahren, mit den diese Materialien verarbeitet werden können. Zusätzlich zu den drei Kategorien, gibt es auch eine vierte Kategorie:

4. **Faserverbundwerkstoffe** - heterogene Kombination der anderen drei Grundtypen.



**Abbildung 1.12** Diagramm der drei grundlegenden Typen Materialien und Verbundwerkstoffe [GRO 07]

**1. Metallische Werkstoffe** kommen in der Technik meist als Legierungen zur Anwendung. Durch die Legierungsbildung können die Eigenschaften der reinen Metalle in einer erwünschten Richtung (z.B. höhere Festigkeit) verändert werden. Als Legierung wird ein Werkstoff mit Überwindung metallischem Charakter bezeichnet, der aus mindestens zwei Komponenten besteht. Es gibt zwei Hauptgruppen:

**1.1. Eisenwerkstoffe** werden die Metalllegierungen bezeichnet, bei denen der mittlere Gewichtsanteil an Eisen höher als der jedes anderen Legierungselement ist. Das bedeutendste Element ist Kohlenstoff. Die Legierungen aus Eisen und Kohlenstoff sind **Stahl** und **Gusseisen**. Diese Metalle bilden die wichtigste Gruppe im Handel und umfassen  $\approx 75\%$  der in der Welt verwendeten Metallmenge. Reines Eisen hat eine begrenzte Nutzung, aber wenn legiert mit Kohlenstoff, Eisen hat mehr Einsatzmöglichkeiten und größeren kommerziellen Wert als jedes andere Metall.

**Stähle** können als Eisen-Kohlenstoff Legierungen mit **0,02 bis 2,11 % C** definiert werden. Das ist die wichtigste Kategorie in der Gruppe der Eisenwerkstoffe. Die Zusammensetzung schließt häufig andere Legierungselemente ein, wie Mangan, Chrom, Nickel und Molybdän, um die Eigenschaften des Werkstoffs zu erhöhen.

**Gusseisen** sind die in Gießen verwendete Legierungen mit **,02 bis 2,11 % C** Andere Elemente werden häufig zugesetzt, um erwünschte Eigenschaften im Teil zu erhalten. Gusseisen ist in verschiedenen Formen erhältlich, von denen ist Grauguss die wirtschaftlichste.

**1.2 Nichteisenmetalle** sind alle anderen metallischen Elementen und deren Legierungen. Von technischer Bedeutung sind folgende Metalle und ihre Legierungen: Aluminium, Kupfer, Gold, Magnesium, Nickel, Silber, Titan, Zink, usw. In fast allen Fällen sind die Legierungen wichtiger kommerziell als die reinen Metalle.

**2. Die nichtmetallische Werkstoffe** lassen sich in nichtmetallische organische Werkstoffe und nichtmetallische anorganische Werkstoffe einteilen.

**Keramische Werkstoffe (Keramik)** sind Mischungen mit metallischen (oder halbmatalischen) und nichtmetallischen Elementen. Keramische Werkstoffe besitzen eine kristalline bzw. teilkristalline Gefügestruktur. In der Regel werden sie bei Raumtemperatur aus einer Rohmasse geformt und erhalten ihre Werkstoffeigenschaften durch eine Temperaturbehandlung bei über 800°C.

Typische nichtmetallischen Elemente sind **Sauerstoff**, **Stickstoff** und **Kohlenstoff**. Traditionelle Keramiken umfassen: **Ton** (bestehend aus feinen Teilchen aus wasserhaltigem Aluminiumsilikaten und anderen Materialien), **Silicium** (Basis für nahezu alle Glasprodukte), **Aluminiumoxid** und **Siliciumkarbid**. Neue Keramiken umfassen **Karbide** (Metallkarbiden) wie **Wolfram-Karbid** und **Titan-Karbid**, die weithin als Schneidwerkzeuge-Materialien verwendet werden und **Nitride** - metallische-und halbmatalische Nitride wie **Titannitrid** und **Bornitrid** als Schneidwerkzeuge und Schleifmitteln verwendet werden.

Für die Verarbeitungszwecken, teilen sich die Keramische Werkstoffe in:

**2.1. Crystalline Keramik** - beinhaltet:

- Traditionelle Keramik, wie Ton (Aluminiumsilikate)
- Moderne Keramiken wie Aluminiumoxid ( Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> )

**2.2. Glas** - meist auf der Basis von Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>)

**3. Kunststoffe (Polymere)** sind aus makromolekularen, organischen Verbindungen aufgebaut. Ihre Herstellung erfolgt auf chemischem Weg synthetisch oder durch Umwandlung von Naturprodukten. Ihre breite Anwendung ist in erster Linie auf die kostengünstige Verrarbeitung zurückzuführen. Sie ergibt sich aus dem Umstand, dass die Formgebung bei relativ niedrigen Temperaturen vorgenommen werden kann und auch komplizierte Formteile in einem einzigen Verarbeitungsschritt (meistens ohne oder mit nur geringer Nacharbeit) hergestellt werden können. Allerdings sind hierfür komplexe Formwerkzeuge erforderlich, die sich erst bei großen Stückzahlen amortisieren. Es gibt drei Kategorien:

**3.1. Thermoplastische Polymere** (auch **Thermoplaste** genannt) können an mehrere Heiz- und Kühlzyklen ohne Änderung ihrer molekularen Struktur (z.B. Polyethylen, Polystyrol, Polyvinylchlorid und Nylon) unterzogen werden.

**3.2. Duroplastische Polymere** (auch **Duromere, Duroplaste** genannt). Beim Abkühlen transformieren sich ihre Moleküle durch eine chemische Verwandlung (Erstarrung) aus einer erhitzten plastischen Zustand in einer starren Struktur (Phenole, Amino-Harze, Epoxidharze).

**3.3. Elastomere** haben bedeutende elastische Verhalten. Sie umfassen Naturkautschuk, Neopren, Silikon und Polyurethan.

**4. Faserverbundwerkstoffe** sind Werkstoffe, die aus zwei oder mehrere Komponenten (Faser und Matrix) bestehen, von den die eine in Form von Fasern in die andere, die Matrix, eingebettet ist. Der Grundgedanke dieser Verbundbauweise ist, durch Kombination geeigneter Faser- und Matrixmaterialien Werkstoffeigenschaften zu erzielen, die sich mit den Ausgangskomponenten allein nicht erreichen lassen. Angestrebt werden vor allem eine hohe Festigkeit bei geringer Dichte, eine gute Korrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturfestigkeit.

Die festigkeitssteigernden Elemente in Verbundwerkstoffen sind die Fasern. Die derzeit wichtigsten und am häufigsten verwendeten Faserwerkstoffe sind Glas und Kohlenstoff. In bestimmten Bereichen werden auch hochfeste Polymerfasern sowie Bor- und Keramikfasern eingesetzt. Zur Erzielung höchster Festigkeit ist es wichtig, dass die Kristalle bzw. Moleküle der Fasern in orientierter Form mit einer Vorzugsrichtung vorliegen.

Während die Faser dem Verbundwerkstoff Festigkeit und Steifigkeit verleihen sollen, wird eine bestimmte Duktilität von der Matrix gefordert. Maßgebend für die Auswahl des Matrixmaterials ist vor allem die Einsatztemperatur. Bei Temperaturen bis etwa 200° C wird gewöhnlich eine Polymermatrix verwendet. Dies kann ein Thermoplast (schmelzbar, z.B. Polyamid) oder Duromer (nicht schmelzbar, z.B. Epoxidharz) sein. Bei höheren Temperaturen geht man zu einer Metallmatrix aus Leichtmetall, meist einer Aluminiumlegierung, über. Für sehr hohe Temperaturen eignet sich eine Keramikmatrix (z.B. Siliziumkarbid, Aluminiumoxid) oder eine Kohlenstoffmatrix (amorpher Kohlenstoff, bis 2500° C)

Einige Faserverbundwerkstoffe vereinen hohe Festigkeit mit geringem Gewicht und sind auf Anwendungen wie Flugzeugteile, Karosserien und Tennisschläger geeignet. Andere Faserverbundwerkstoffe sind stark, hart und können diese Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen aufrechterhalten (Hartmetalle für Schneidwerkzeuge).

# KAPITEL 2.

## Allgemeine Klassifizierung der Fertigungsverfahren

Es ist extrem schwierig zu sagen, die genaue Anzahl der verschiedenen bestehenden Fertigungsverfahren, die zur Zeit praktiziert werden, weil ein spektakulär großen Anzahl von Materialien bis jetzt entwickelt worden sind. Ihre Zahl steigt immer noch exponentiell mit den wachsenden Anforderungen und rasche Fortschritte in Wissenschaft und Technik. In der Praxis gibt es zwei Arten von Fertigungsprozessen (Abbildung 2.1):

1. **Verarbeitungsoperationen** verwandeln einen Werkstück von einem Zustand der Fertigstellung zu einem fortgeschrittenen Stadium. Diese Operationen wertschöpft den Werkstück durch Änderung der Geometrie, der Eigenschaften oder des Aussehens des Rohstoffs. Im allgemeinen wird die Verarbeitung auf individuellen Werkstücken durchgeführt, aber einige Verarbeitungen gelten auch für die montierten Teile.
2. **Montageoperationen** bringen zwei oder mehrere Komponenten zusammen, um eine neue Einheit nämlich eine **Baugruppe** oder eine **Unterbaugruppe** zu erstellen, oder andere Begriffe im Zusammenhang mit dem Fügeverfahren.

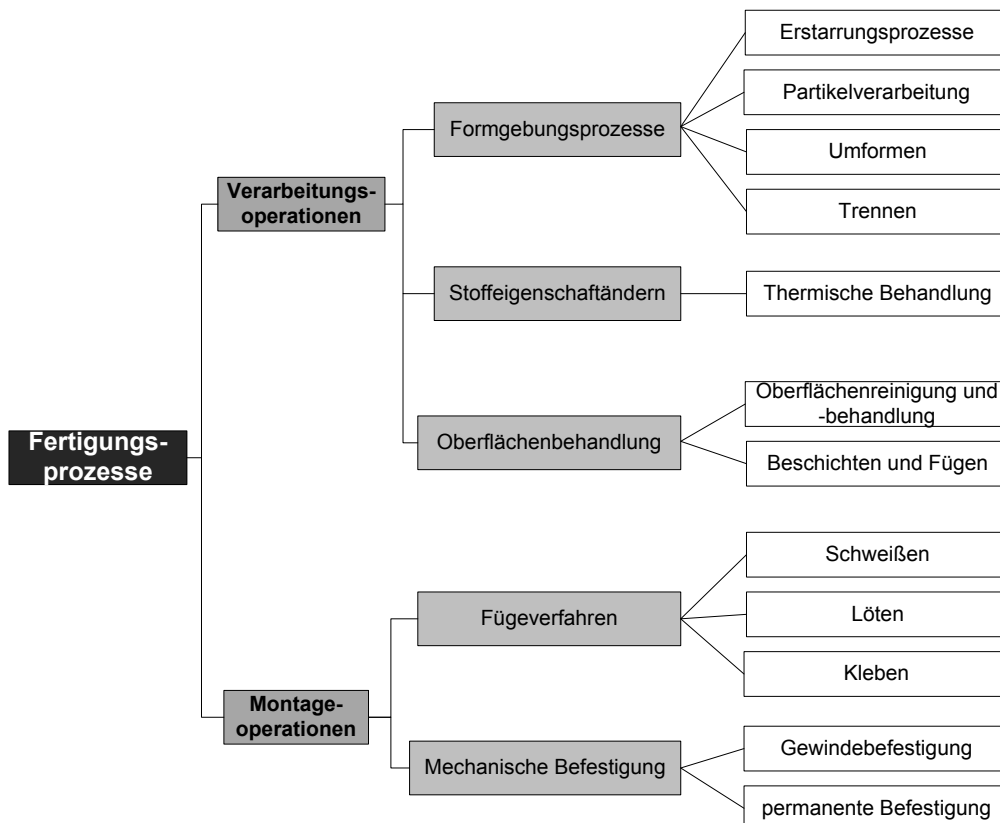
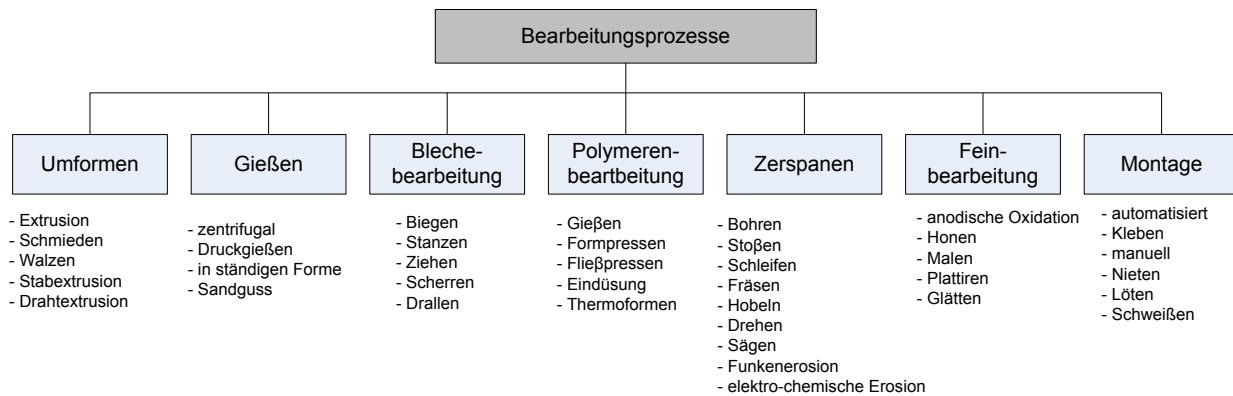


Abbildung 2.1 Klassifizierung von Fertigungsprozessen [GRO 10]



**Abbildung 2.2** Einteilung der Bearbeitungsprozesse

## 2.1 Einteilung der Fertigungsverfahren

Innerhalb des aus zahlreichen Schritten bestehenden Produktionsprozesses besitzt die Fertigungstechnik eine zentrale Bedeutung. Ihre Aufgabe ist es, Werkstücke mit definierter geometrischer Gestalt und vorgegebenen Eigenschaften herzustellen.

Das Kriterium zur Einteilung der großen Zahl der Fertigungsverfahren ist der Zusammenhalt einzelner benachbarter Materialteilchen (Bild 2.3). Diese muss erst einmal geschaffen (**Urformen**): es kann beibehalten oder leicht verändert werden (**Umformen, Stoffeigenschaftändern**) und er kann vermindert (**Trennen**) oder vermehrt werden (**Fügen, Beschichten**). Diese Systematik ermöglicht die Aufnahme von neuen Fertigungsverfahren und dient als Basis für eine internationale Normung. Sie ist in DIN 8580 enthalten. Danach werden alle Fertigungsverfahren in sechs Hauptgruppen eingeteilt, die weiter in Gruppen und Untergruppen untergliedert sind.

Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften
	Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren	
Hauptgruppe 1	Hauptgruppe 2	Hauptgruppe 3	Hauptgruppe 4	Hauptgruppe 5	Hauptgruppe 6
<b>Urformen</b>	<b>Umformen</b>	<b>Trennen</b>	<b>Fügen</b>	<b>Beschichten</b>	<b>Stoffeigenschaftändern</b>

**Abbildung 2.3** Einteilung der Fertigungsverfahren (DIN 8580) [WES 01]

**Urformen** ist das Fertigen eines Körpers durch Schaffen des Zusammenhaltes. Hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstückes bestimmbar in Erscheinung.

**Umformen** ist Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers. Dabei werden sowohl die Masse als auch der Zusammenhalt beibehalten. Zur Einordnung der mehr als 200 verschiedenen Umformverfahren mit unzähligen Verfahrensvarianten wird die beim Umformprozess hauptsächlich wirksame Beanspruchungsart (Spannungsart und -richtung) herangezogen. Die weitere

Einteilung in Untergruppen geschieht nach Kriterien des Bewegungsablaufs und der Werkzeug- oder Werkstückgeometrie.

**Trennen** ist Fertigen durch Ändern der Form eines festen Körpers, wobei der Zusammenhalt örtlich aufgehoben, d.h. im ganzen vermindert wird. Dabei ist die Endform des Werkstücks in der Ausgangsform enthalten. Dem Trennen ist auch das Zerlegen zusammengesetzter Körper und das Reinigen zugeordnet.

**Fügen** ist das auf Dauer angelegte Verbinden oder sonstige Zusammenbringen von zwei oder mehr Werkstücken geometrisch bestimmter Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff. Dabei wird jeweils der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.

Eine durch Fügen hergestellte Verbindung kann lösbar oder unlösbar sein. Lösbare Verbindungen lassen sich ohne Beschädigung der gefügten Teile wieder lösen, bei unlösbaren Verbindungen muss eine Beschädigung oder Zerstörung der gefügten Teile in Kauf genommen werden.

Fügen ist nicht mit Montieren gleichzusetzen. Montieren wird zwar stets unter Anwendung von Fügeverfahren durchgeführt, es schließt jedoch zusätzlich auch alle Handhabungs- und Hilfsvorgänge einschließlich des Messens und Prüfens mit ein. Spannen (Einspannen) zum Zwecke des Bearbeitens oder Vermessens eines Werkstückes ist nicht Fügen im Sinne eines Fertigungsverfahrens.

**Beschichten** ist das Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosem Stoff auf ein Werkstück. Maßgebend ist der unmittelbar vor dem Beschichten herrschende Zustand des Beschichtungsstoffes. Die Gliederung der Hauptgruppe Beschichten erfolgt nach verfahrenstechnischen Gesichtspunkten bzw. nach dem Aggregatzustand des Beschichtungsstoffes. Als Beschichtungsstoffe kommen metallische, anorganisch-nichtmetallische (z.B. Email, Keramik) und organische (Lacke) Werkstoffe in Betracht.

**Stoffeigenschaftändern** ist Fertigen durch Ändern der Eigenschaften des Werkstoffes, aus dem ein Werkstück besteht. Dies geschieht im allgemeinen durch Veränderungen im submikroskopischen bzw. im atomaren Bereich, z.B. durch Diffusion von Atomen, Erzeugung und Bewegung von Versetzungen im Atomgitter und durch chemische Reaktionen.

Die Wahl des für die Herstellung eines Werkstückes anzuwendenden Fertigungsverfahrens richtet sich nach den verlangten Maßtoleranzen, Oberflächengüten, den vorhandenen Produktionsmitteln und den geforderten Stückzahlen. Je höher die Losgrößen sind, umso weitgehender kann ein Fertigungsverfahren automatisiert werden. Die Grenzen der Automatisierbarkeit werden also nicht durch die technischen Möglichkeiten bestimmt, sondern durch wirtschaftliche Überlegungen.

## 2.2 Verarbeitungsoperationen

Diese Operationen verändern die **Form**, die physikalischen **Eigenschaften** oder das **Aussehen** eines Werkstückes, um Wert auf das Material hinzuzufügen. Es gibt drei Hauptkategorien von Verarbeitungen:

- **Formverfahren** verändern die Geometrie des Eingangsmaterials. Diese Operationen lassen sich weiter in vier Kategorien einteilen:

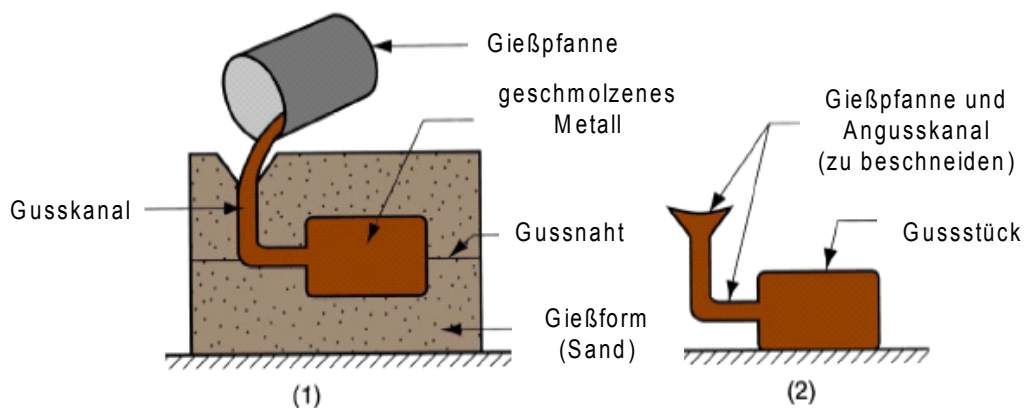
- a) **Urformen aus dem flüssigen Zustand (Erstarrung)**. Das Eingangsmaterial ist **flüssig oder halbflüssig**, das durch die Verfestigung der Form des Werkstücks nimmt. Der Rohstoff wird genug erhitzt,



um einen flüssigen oder einen sehr plastischen Zustand zu erreichen. Beispiele: Metallgießen, Kunststoffspritzgießen.

Bei vielen industriell hergestellten Produkten werden Gießprozesse zur ersten Formgebung genutzt. Gießen ermöglicht dem Konstrukteur weitgehende Gestaltungsfreiheiten. So ergibt sich die besondere Möglichkeit auch kompliziert gestaltete Bauteile wirtschaftlich zu fertigen. Die Einteilung der Gießverfahren erfolgt in Gießen mit verlorenen Formen und Gießen mit Dauerformen, je nach Verwendbarkeit der Formen bzw. Werkzeuge.

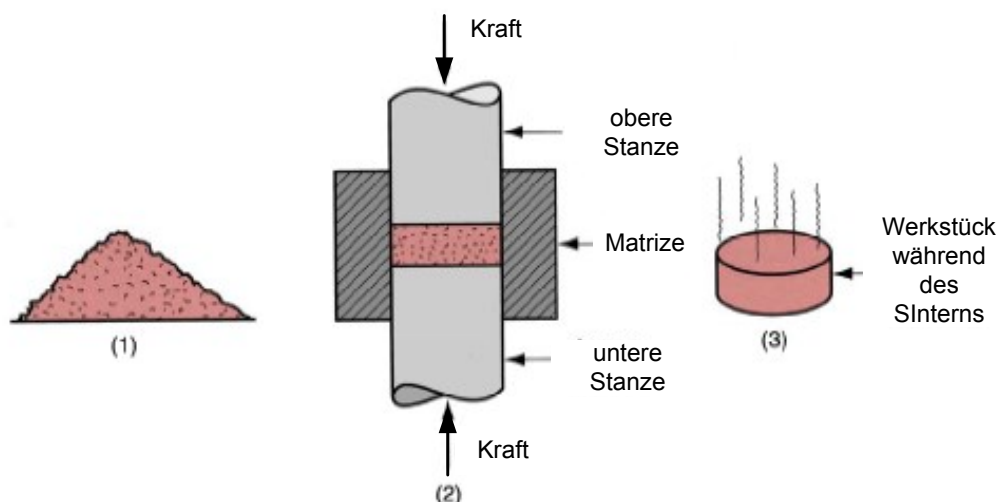
Die vergießbaren Werkstoffe lassen sich in metallische (eisenhaltige und nichteisenhaltige) und nichtmetallische Werkstoffe unterteilen. Wichtige Eisengußwerkstoffe sind Gußeisen mit Lamellengraphit (GGL), Gußeisen mit Kugelgraphit (GGG), weißer und schwarzer Temperguß (GTW und GTS), sowie Stahlguß. Bei den nichteisenmetall-Gußwerkstoffen ist vor allem Aluminium aufgrund seiner guten Vergießbarkeit zu nennen.



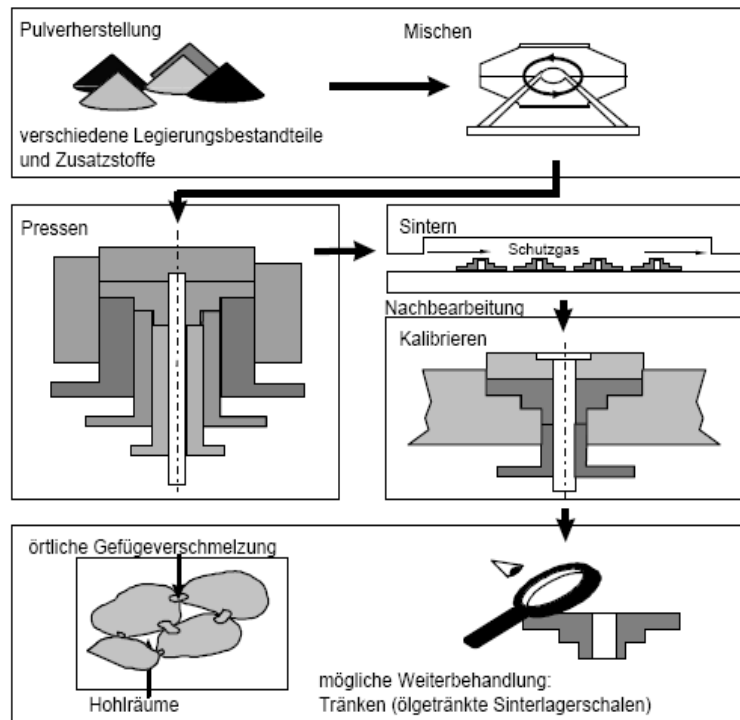
**Abbildung 2.4** Erstarrung (Gießen) [GRO 10]

**b) Urformen aus dem festen Zusand** (Partikelverarbeitung) – Das Eingangsmaterial ist **ein metallisches oder keramisches Pulver**, die in der erzielten Geometrie geformt und dann gesintert wird, um auszuhärten. Die pulvermetallurgischen Technologien gehören dem Urformen aus dem festen (körnigen oder pulverförmigen) Zustand.

Diese Verfahren führen zunächst nur zu einem ungesinterten Pressling (in der Fachsprache als Grünling bezeichnet), der in der Regel für eine technische Verwendung nicht geeignet ist. Erst durch eine Sinterung, d.h. durch eine Neukristallisation und eine Nachbearbeitung entsteht ein technisch verwendbares Werkstück. Beim Sintern findet eine Änderung der Stoffeigenschaften statt.

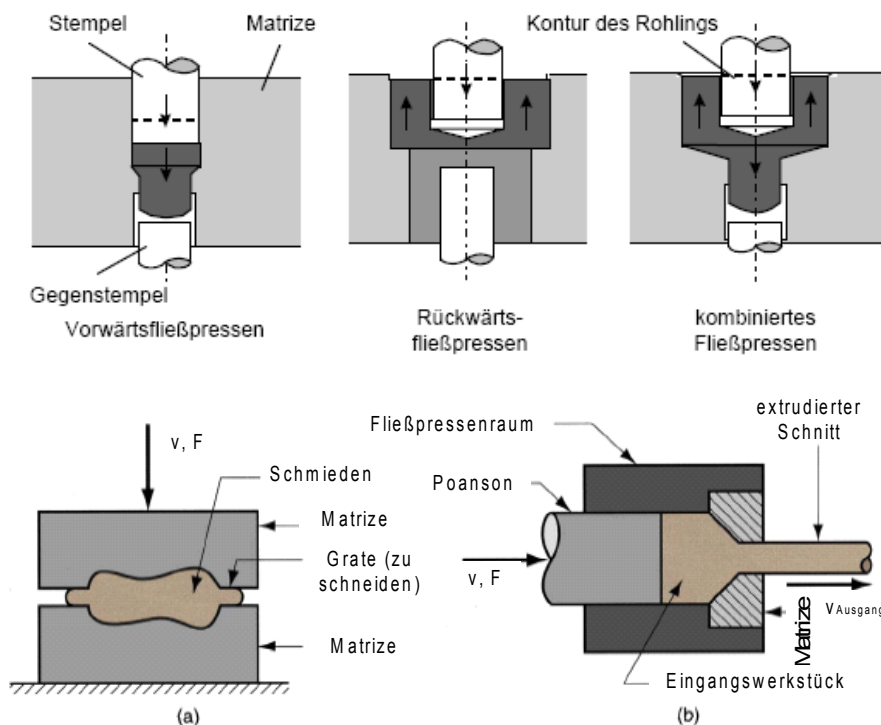


Die Herstellung von Sinterteilen vollzieht sich in mehreren Verfahrensschritten, die wichtigsten sind im Abbildung 2.5 dargestellt.



**Abbildung 2.5** Partikelverarbeitung (Verfahrensschritte zur Herstellung von Sinterteilen) [WES 01]

c) **Umformen** – Das Eingangsmaterial ist **eine duktile Feststoff** (üblicherweise Metall), die verformt wird. Der Werkstück wird durch Anwendung von Kräften geformt, die die Fließgrenze des Materials übersteigen. Das Prozess erfolgt im plastischen Bereich. Beispiele: Walzen, Gesenkformen (a), Fließpressen (Extrusion) (b).

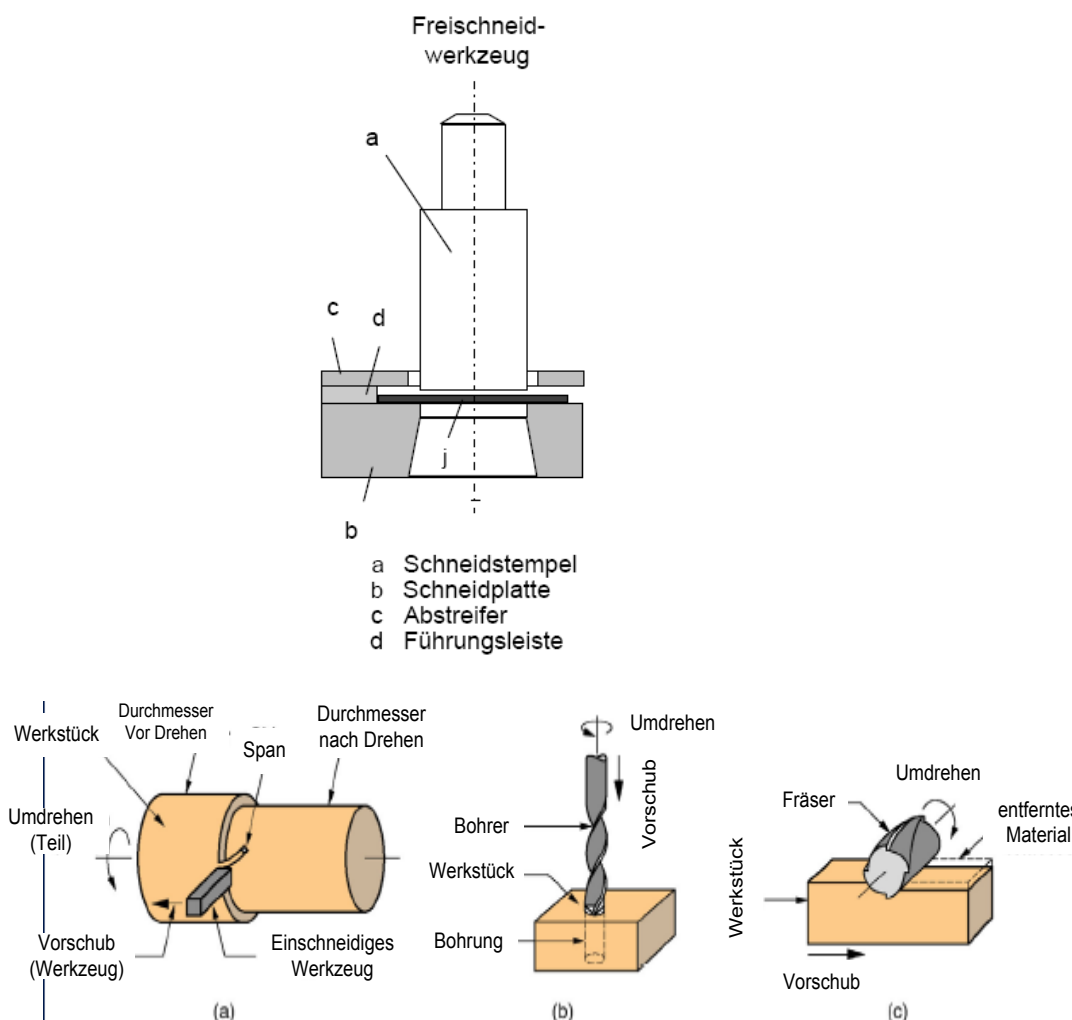


**Abbildung 2.6** Umformen [GRO 07]

Die Umformverfahren unterscheiden sich von den anderen Verfahren der Fertigungstechnik besonders durch den erforderlichen hohen Kraftaufwand, durch die Einbeziehung meist des gesamten Werkstückes in den Bearbeitungsprozess und durch die meist kurzen Bearbeitungszeiten mit hoher Leistungsmenge.

**d) Trennen** – Das Ausgangsmaterial ist ein **duktiler oder spröder Feststoff**, von dem das Material entfernt wird, so die ergebenden Teile erzielte Geometrie haben. Der eigentliche Vorgang des Trennens erfolgt an einer Stelle, der sogenannte Wirkstelle, wo das Werkzeug auf das Werkstück einwirkt. Werkzeug und Werkstück werden als Wirkpaar bezeichnet. Zum Ablauf des Trennvorgangs sind zwischen Werkzeug und Werkstück Relativbewegungen (Schnitt-, Vorschub-, und Zustellbewegungen) erforderlich, die von einem oder beiden Partnern des Wirkpaares ausgeführt werden. Die dem Trennvorgang von außen zugeführte Energie bzw. Leistung wird an der Wirkstelle in Trenn-, Verformungs- und Reibleistung umgewandelt und über das Wirkpaar als Wärme abgeführt.

Beispiele: Zerteilen (Scherschneiden), Spanen wie Drehen (a), Bohren (b), Fräsen (c), Schleifen und auch nicht-traditionellen Prozesse.



**Abbildung 2.7** Trennen [GRO 10]

## Abfälle in Formgebungsverfahren

Es ist wünschenswert, den Abfall und Schrott in Teil Formgebung zu minimieren. Materialabtragprozesse neigen in der Regel dazu, große Abfallquellen bei der Herstellung eines Teil zu sein. Gießen und Umformen verursachen in der Regel wenige Abfallmengen. Terminologie:

- **Direkte Formverfahren** - die meisten der Eingangsmaterial verwendet wird und keine weitere Verarbeitung erforderlich ist, um eine endgültige Bauteilgeometrie zu erreichen.
- **Unvollständige Formverfahren** - nach Umformen erfordert der Bauteil eine minimale Nachbearbeitung durch Spanen.

### ▪ Stoffeigenschaftenändern

Diese Operationen verbessern die Eigenschaften des Materials, ohne seine Form zu ändern. Sie werden durchgeführt, um die mechanischen und physikalischen Eigenschaften des Werkstücks Material zu verbessern. Die Werkstückform ändert sich nicht, wenn es unabsichtlich passiert. Beispiele: thermische Wärmebehandlungsverfahren von Metallen und Glas, thermochemische Wärmebehandlungsverfahren von Stahlwerkstoffe, Sintern von Metall- oder Keramikpulver.

### ▪ Beschichten

An die Oberflächen von Werkstücken werden häufig Anforderungen gestellt, die der Grundwerkstoff nicht erfüllen kann. Beschichtungen können diese Aufgaben übernehmen. Damit ist eine getrennte Betrachtungsweise der Volumen- und Oberflächeneigenschaften von Bauteilen möglich. Der sich daraus ergebende Vorteil ist eine, für jede Anwendung optimale Werkstoffauswahl bei einer wirtschaftlichen Fertigung. Die Bedingung ist jedoch eine einwandfreie, auf den Grund- und Schichtwerkstoff abgestimmte Vorbehandlung.

**a) Reinigung Prozesse** sind chemische und mechanische Verfahren, um Schmutz, Öl und anderen Verunreinigungen von der Oberfläche zu entfernen.

**b) Oberflächenbehandlungen** ist mechanische Bearbeitung wie Sandstrahlen und physikalische Prozesse wie Diffusion.

**c) Dünne Filme und Beschichtungen** - Beschichtung der Außenflächen des Bauteiles.

Die verschiedenen Beschichtungsverfahren werden nach Kriterien wie Reproduzierbarkeit, Gleichmäßigkeit und Fehlerfreiheit des Schichtauftrages, Steuerbarkeit des Prozeßablaufs, Gewährleistung der physikalischen, chemischen und optischen Eigenschaften und in letzter Zeit verstärkt nach ihrer Umweltverträglichkeit beurteilt.

Beschichtungen kommt eine große volkswirtschaftliche Bedeutung zu. Sie sollen neben verschiedenen anderen Aufgaben vor allem Objekte jeder Art vor Umgebungseinflüssen schützen und damit ihre Funktion und ihren Wert möglichst lang erhalten.

## 2.3 Montageoperationen

Der zweite grundlegende Art der Herstellungsvorgang ist die Montage, in der zwei oder mehrere separate Teile verbunden werden, um eine neue Einheit zu bilden. Komponenten von neuen Einheit sind entweder **permanent** oder **halbdauerhaft** verbunden. Permanent Fügeverfahren sind Schweißen, Löten und Kleben. Sie bilden eine Verbindung zwischen Komponenten, die nicht leicht getrennt werden kann.

**Mechanische Montage** sind verfügbare Methoden, um zwei (oder mehrere) Teile zusammen in einer gemeinsamen Produkt zu befestigen, der bequem demontiert werden kann. Die Verwendung von Schrauben, Bolzen, und andere Schraubverbindungen sind wichtigen traditionellen Methoden in dieser Kategorie. Andere mechanische Techniken, die eine dauerhafte Verbindung bilden, umfassen: Nieten, Einpressen und Erweiterung. Besondere Verbindungs-und Befestigungselemente Methoden sind in der Montage von elektronischen Produkten verwendet. Einige Verfahren sind identisch oder Anpassungen der vorstehenden Verfahren (zum Beispiel Löten). Arten von Montage- Operationen sind:

- **Fügeverfahren** - eine dauerhafte Verbindung. Das ist ein Vereinigen von Werkstoffen in der Verbindungzone unter Anwendung von Wärme und/oder Kraft mit oder ohne Fügenzusatz. Beispiele: Schweißen, Löten und Kleben
- **Mechanische Montage** - Befestigung durch mechanische Verfahren. Beispiele: Verwendung von Schrauben, Bolzen, Muttern, andere Schraubverbindungen; Armaturen, Expansionselemente.

# KAPITEL 3.

## Produktionsmaschinen und Werkzeuge

### 3.1 Maschinen und Werkzeuge

Fertigungsoperationen werden unter Verwendung von Maschinen, Werkzeugen und menschlichen Ressourcen durchgeführt. Mit dem Anfang der industriellen Revolution begann die Entwicklung und Verbreitung von Maschinen für die Metallbearbeitung. Diese wurden **Werkzeugmaschinen** genannt – die angetriebenen Maschinen, die verwendet wurden, um von Hand betriebene Schneidwerkzeuge zu betreiben. Moderne Werkzeugmaschinen können durch die gleiche grundlegende Definition beschrieben werden, wobei jedoch die Leistung die Elektrizität anstatt Wasser oder Dampf ist, und ihr Niveau der Präzision und Automatisierung heute größer ist.

Andere Produktionsmaschinen sind **Pressen** zum Stanzen; **schmiedene Hämmer** zum Schmieden, **Walzwerke** für Bleche, Schweißmaschinen für das Schweißen und **Bestückungsautomaten** zum Einsetzen elektronischer Komponenten in Leiterplatten.

Produktionsanlagen können allgemeine **Zwecke** oder **speziellen Zwecke** haben. **Allzweckgeräte** sind flexibler und anpassungsfähiger zu einer Vielzahl von Bearbeitungsprozessen. Sie sind im Handel erhältlich für alle produzierenden Unternehmen, die bereit sind zu investieren in diesem Zweck. **Spezielle Ausrüstungen** sind üblich gestaltet, um einen bestimmten Teil oder Produkt in sehr großer Menge zu produzieren.

Die Wirtschaftlichkeit der Massenproduktion rechtfertigt hohe Investitionen in Spezialmaschinen, um hohe Wirkungsgrade und kurze Zykluszeiten zu erreichen. Ein weiterer Grund ist der Fall, wann der Prozess einzigartig ist und handelsübliche Geräte nicht verfügbar sind. Einige Unternehmen mit einzigartigen Anforderungen an die Verarbeitung entwickeln ihre eigenen speziellen Ausrüstungen.

In der Regel erfordern Produktionsmaschinen die Werkzeuge, die die Geräte für die Fertigung jeweiliger Teile oder Produkte anpassen. In vielen Fällen muss das Werkzeug speziell für den Teil oder Produktkonfiguration ausgebildet sein. Für jeden Werkstücktyp ist das Werkzeug an der Maschine befestigt und die Produktion in Betrieb genommen wird.

Wenn der Prozessdurchlauf beendet ist, wird das Werkzeug für den nächsten Werkstücktyp geändert. Wo spezialisierte Maschinen verwendet werden, werden die Werkzeuge häufig als integraler Bestandteil der Maschine bestimmt. Das angewandte Werkzeug hängt von der Art der Fertigung an.

## 3.2 Produktionssystem

Produktionssysteme werden in der Literatur insbesondere nach **Fertigungstypen** unterschieden. Je nachdem, ob es sich beispielsweise um **Einzel-, Serien- oder Massenfertigung** oder um **Werkstatt- oder Fließproduktion** handelt, ergeben sich verschiedene Arten von Planungsproblemen. Die Lösung dieser Probleme und somit die möglichst effiziente Konfiguration und Steuerung von Produktionssystemen ist Aufgabe der **Produktionswirtschaft**. Einzelne Unternehmen haben eigene Produktionssysteme entwickelt, in denen sie die generellen **Prinzipien, Standards, Methoden und Werkzeuge** beschreiben, die für die Organisation und die Arbeits- und Produktionsweise gelten.

Es gibt zwei Kategorien von Produktionssystemen: **Produktionseinrichtungen, Hilfsproduktionssysteme**. Beide Kategorien fassen Menschen um (Menschen machen diese Systeme zu arbeiten).

**Produktionseinrichtungen** der Fabrik bestehen aus Produktionsanlagen, Handhabungs- und Transportanlagen. Die Produktionsanlagen "berühren" das Produkt und auch die Art und Weise der Ausrüstung in der Fabrik - **Unternehmensanordnung**. Ausrüstung wird in der Regel in logische Gruppen organisiert, genannt **Fertigungssysteme**. Beispiele: automatisierte **Produktionslinie, Bearbeitungszelle**, bestehend aus einem Industrieroboter und zwei Werkzeugmaschinen. **Produktionseinrichtungen** befinden sich im Zusammenhang mit Produktenmengen. Ein Unternehmen entwickelt seine Fertigungssysteme und organisiert seine Abteilungen, um den besonderen Auftrag der jeweiligen Ziele zu dienen. Bestimmte Arten von Produktionsanlagen werden als am besten geeignete für eine bestimmte Fertigungsart (Kombination aus Produktvielfalt und Produktionsmenge) anerkannt. Verschiedene Einrichtungen sind für jede der drei Produktionsmengen erforderlich.

### ▪ **Einzelfertigung / Auftragsfertigung / Werkstattfertigung (Geringe Menge der Produkten)**

Die **Einzelfertigung** ist ein Fertigungstyp, bei dem in der Regel nur eine Einheit (oder eine begrenzte Zahl) eines Produktes gleichzeitig hergestellt wird. Kein Erzeugnis gleicht völlig oder annähernd dem anderen. Geringe Produktmenge liegt zwischen 1 bis 100 Einheiten /Jahr. Man unterscheidet bei der Einzelfertigung die:

- **einmalige Einzelfertigung**: Bei dieser Fertigungsart wird jedes Produkt als **Unikat** konstruiert und hergestellt
- **wiederholte Einzelfertigung**: Ein Produkt wird wiederkehrend gefertigt, jedoch ist die Unterbrechung zwischen den Fertigungszeiten so groß, dass die erforderlichen Fertigungseinrichtungen in dieser Zeit nicht betriebsbereit gehalten, sondern abgebaut werden.

Einzelproduktion ist Auftragsfertigung. Das heißt, die Produkten werden für einen konkret vorliegenden Auftrag eines Kunden gefertigt. Die Einzelproduktion ist daher von der Kapazität sowie von den technischen Möglichkeiten der Betriebsmittel abhängig. Es gibt kein festes Fertigungsprogramm.

Unternehmen mit Einzelproduktion benötigen **universell einsetzbare Fertigungsanlagen** sowie einen großen Maschinenpark, damit sie auf die unterschiedlichen Kundenwünsche reagieren zu können. Außerdem müssen die Produktionsanlagen schnell umzurüsten sein. Das System ist auf maximale Flexibilität gestaltet.

Betriebe mit Einzelfertigung benötigen gut ausgebildetes und qualifiziertes Personal, das flexibel einsetzbar ist.

Die Produktionsorganisation von Betrieben mit Einzelfertigung ist meist eine Werkstattproduktion, die durch räumliche Konzentration geprägt ist.

### Vorteile

- Die Erfüllung individueller und auch ausgefallener Kundenwünsche ist möglich.
- Die Unternehmen können sich veränderten Marktsituationen schnell anpassen.
- Steigerung der Zufriedenheit und Motivation des Personals aufgrund der Verschiedenartigkeit der Produkte, die gefertigt werden.

### Nachteile

- Durch Einzelfertigung entstehen hohe Stückkosten.
- Der Kunde muss lange Lieferzeiten in Kauf nehmen, wenn die Fertigung benötigte Einzelteile eines Produktes nicht sofort verfügbar ist.

Einzelfertigung muss auf maximale Flexibilität ausgelegt werden, um mit breiten Produktvariationen (hart Produktvielfalt) umzugehen. Wenn das Produkt ist groß und schwer und daher schwierig zu bewegen, bleibt er normalerweise in einem Ort während seiner Herstellung oder Montage. Arbeiter und Geräte zur Verarbeitung an das Produkt versetzt sind, anstatt sich das Produkt an den Geräten verlegt wird. Diese Art der Gestaltung wird als **ortfeste Anordnung**, in Abbildung 3.1 (a) bezeichnet. In reinen Situation bleibt das Produkt in einem einzigen Ort während der gesamten Produktion. Beispiele: Schiffe, Flugzeuge, Lokomotiven, und schwere Maschinen. In der Praxis werden diese Produkte in der Regel in großen Modulen an einzelnen Standorten gebaut, und dann sind die abgeschlossen Module für die Endmontage mit großer Kapazität Kräne verlegt.

Die einzelnen Komponenten dieser großen Produkte werden oft in Fabriken, in denen die Geräte nach Funktion oder Art angeordnet sind. Diese Anordnung wird ein **Prozessbezogeneanordnung** genannt. Die Drehmaschinen sind in einer Abteilung, die Fräsmaschinen sind in einer anderen Abteilung und so weiter, wie in Abbildung 3.1(b) gezeigt. Verschiedene Teile, die jeweils eine andere Operationsequenz werden durch die Abteilungen in der bestimmten Reihenfolge für deren benötigte Verarbeitung geleitet in der Regel in den Reihen. Der Prozessbezogeneanordnung ist für seine Flexibilität hingewiesen, es kann eine Vielzahl von Betriebssequenzen für verschiedene Konfigurationen des Teiles unterzubringen. Ihr Nachteil ist, dass die Maschinen und Verfahren zur Herstellung eines Teils sind nicht für hohe Effizienz ausgelegt.

### ▪ **Serienfertigung (mittlere Menge der Produkten)**

Die **Serienfertigung** ist durch die gleichzeitige oder unmittelbar aufeinander folgende Erzeugung mehrerer gleichartiger Produkte (*Serie*) gekennzeichnet, die auch **Serienprodukte** genannt werden. Sie ist ein Produktionstyp mit einer großen, aber begrenzten Anzahl von Wiederholungen.

Die Merkmale der Serienfertigung sind begrenzte Zahl (Serie) gleichartiger Produkte, qualitativ verwandte Erzeugnisse und fertigungstechnisch unterschiedliche Erzeugnisse (z.B. Möbel). Die Umrüstzeiten und -kosten haben eine hohe Bedeutung.



Serienfertigung beträgt 100 bis 10.000 Einheiten jährlich. Bezogen auf die Menge kann zwischen der **Kleinserienfertigung** mit geringer Menge gleichartiger Produkte und der **Großserienfertigung** mit großer Menge gleichartiger Produkte (z. B. Automobilindustrie) unterschieden werden.

- Einzel- und Kleinserienfertigung = unter 20 Stück pro Monat. (Bei 5 Arbeitstage-Woche = max 1Stück/Tag)
- Mittelserienfertigung = 20 - 1000 Stück pro Monat.
- Großserienfertigung = über 1000 Stück pro Monat.

Weiters kann man zwischen der **auftragsorientierten** und der **marktorientierten Serienfertigung** unterschieden werden. Bei der auftragsorientierten Serienfertigung werden teilweise standardisierte Produkte nach einem Kundenauftrag gefertigt. Bei der marktorientierten Serienfertigung werden teilweise standardisierte Produkte für anonyme Abnehmer produziert.

Beispiele für Industrien mit Serienfertigung sind: Automobilindustrie, Automobilzuliefererindustrie (Reifen, Felgen, Lack), Mode (Kleider, Anzüge, Schuhe), Standardmaschinenbau, Möbelindustrie, Metallindustrie.

### **Vorteile**

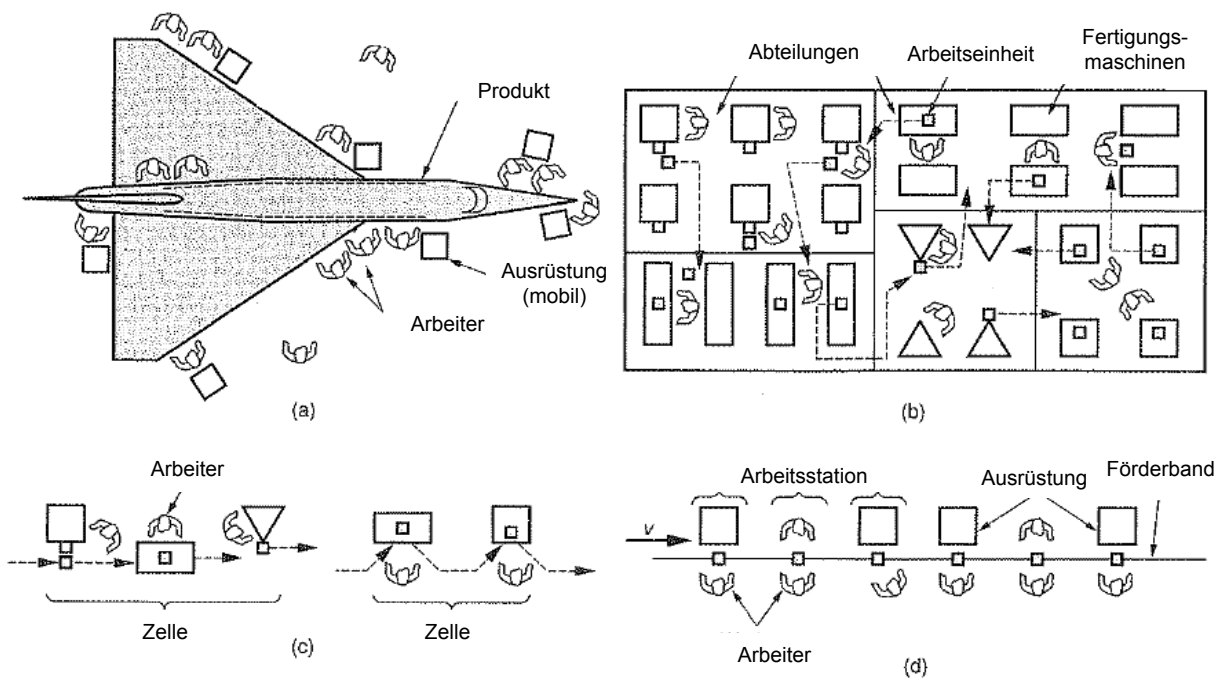
Die Vorteile der Serienfertigung sind unter anderem die einfachere Herstellung des Produkts, da sich die Abläufe während einer Serie nicht ändern, was sich auch in höherer Qualität sowohl direkt als auch indirekt durch effektiveres Qualitätsmanagement niederschlägt. Das Produkt wird preiswerter, da die erforderlichen Maschinen optimiert und besser ausgelastet werden können. Außerdem ist die Beschaffung der erforderlichen Materialien in großen Stückzahlen deutlich kostengünstiger. Das Produkt steht in relativ großen Stückzahlen auf dem Markt zur Verfügung. Weiter finden sich eine hohe Produktivität, kurze Durchlaufzeiten und tendenzielle geringe Transport- und Lagerkosten. Der Einsatz von angelernten Arbeitskräften ist durch die standardisierten Fertigungsabläufe möglich. Durch die Fixkostendegression sinken die Stückkosten.

### **Nachteile**

Die Individualität einer Einzelfertigung geht verloren. Kleine Hersteller und Fabriken können nur noch Nischenprodukte gewinnbringend herstellen. Anpassungen an Marktänderungen sind mit hohen Umstellungsaufwendungen (z. B. Rüstkosten) verbunden. Die Lagerkosten steigen, wenn mehrere Produkte, die nacheinander auf derselben Maschine hergestellt werden, gleichzeitig abgesetzt werden sollen. Im Gegensatz zur Einzelfertigung ist ein hoher Kapitalbedarf für Fertigungseinrichtung als Nachteil zu verzeichnen.

Je nach Produktvielfalt werden zwei verschiedene Arten von Anlage verwendet:

- hohe Produktvielfalt: **Losproduktion**
- niedrige Produktvielfalt: **zellulare Produktion**



Ab

**Abbildung 3.1** Verschiedene Arten von Fertigungsanordnungen: (a) ortsfeste Anordnung, (b) verfahrenbezogene Anordnung, (c) zelluläre Anordnung und (d) produktbezogene Anordnung [GRO 07]

Wenn Produktvielfalt hart ist, ist die übliche Vorgehensweise Serienfertigung, bei dem eine Charge eines Produkts hergestellt wird, wonach die Herstellung abgeschlossen ist, um eine Charge der nächsten herzustellen verändert, und so weiter. Die Umschaltung zwischen Serien braucht Zeit (Zeit bis zum Werkzeugwechsel und Konfiguration der Maschinen). Diese Ausrüstungszeit ist für die Produktion verloren, und sie ist ein Nachteil der Serienfertigung. Serienproduktion wird häufig für Stocksituationen verwendet, in der die Produkte gefertigt sind, um die erschöpfte Stocke durch die Nachfrage wieder aufzufüllen.

Ein alternativer Ansatz zur Serienproduktion ist möglich, wenn Produktvielfalt weich ist. In diesem Fall kann umfangreiche Umschaltung zwischen einer Produktart und dem nächsten nicht erforderlich sein. Oft ist es möglich, das Herstellungssystem so zu konfigurieren, dass Gruppen von ähnlichen Produkten auf dem gleichen Gerät ohne nennenswerte Zeitverluste gefertigt werden, vorgenommen werden ohne eine Wiederausrüstung. Die Verarbeitung oder Montage der verschiedenen Teile oder Pro-

dukte werden in den Zellen durchgeführt, die aus mehreren Arbeitsstationen oder Maschinen bestehen. Der Begriff wird oft zelluläre Produktion mit dieser Art der Produktion. Jede Zelle ist für Erzeugung einer begrenzten Anzahl von Teilen konfiguriert. Die Zelle ist auf die Herstellung einer gegebenen Menge von ähnlichen Produkten spezialisiert, nach den Grundsätzen der Gruppentechnik. Die Anordnung wird als zellulär (Gruppentechnik-Anordnung), wie in Abbildung 3.1 (c) dargestellt.

### ▪ Massenproduktion

**Massenproduktion** ist die Herstellung von großen Mengen gleicher Produkte unter Verwendung von austauschbaren, standardisierten Einzelteilen und Baugruppen für eine nicht vorherbestimmte Zeitspanne. Maschinelle Fertigung und Fertigungslinien sind oft für die Massenproduktion eingesetzt.

**Arbeitsteilung** hatte zur Folge, dass jeder Mitarbeiter nur wenige, bestimmte Verrichtungen im gesamten Produktionsverfahren erledigt, welche zu strikten Vorgaben unterlagen. Dies führte dazu, dass Effizienz und Produktivität gesteigert werden konnten, da der Arbeiter auf diese Verrichtung spezialisiert war.

Das Prinzip der Arbeitsteilung steht jedoch die Tatsache gegenüber, dass der Verantwortungsbereich eines einzelnen Arbeiters enorm eingeschränkt wurde, da seine Tätigkeit nun auf monotone Verrichtungen reduziert wurde. Folglich brachte es die Rückschläge im Bereich der Zufriedenheit und Motivation unter den Arbeitskräften.

**Standardisierung.** Die Herstellung austauschbarer Einzelteile erforderte die maßhaltige Fertigung der Teile innerhalb definierter Toleranzen. Teile, die außerhalb des Toleranzbereiches lagen, konnten in der Produktion nicht mehr verwendet werden und wurden als Ausschuss klassifiziert, dessen Herstellung die Gesamtproduktivität der Fertigungsstätte herabsetzt.

Zur Überwachung der Maßhaltigkeit zum Zweck der Produktivitätssteigerung werden spezifische Methoden entwickelt.

- **Austauschbarkeit.** Durch austauschbaren Teile wurde der Produktionsprozess wesentlich vereinfacht. Nun konnten beispielsweise Reparaturen in kürzerer Zeit durchgeführt werden.
- **Spezielle Maschinen.** Um im Bereich der Standardisierung eine gewisse Toleranz zu gewährleisten, bedurfte es im Bereich der Fertigung speziellen Maschinen. Vorerst wurden diese Geräte meist in den eigenen Fabriken gebaut. Später setzte man auf die Zusammenarbeit mit Werkzeugmaschinenindustrien als Zulieferer.

### Vorteile

- Fokussierung der Arbeitsvorbereitung, der Produktionsverrichtung und der Vertriebsaufgaben auf ein Produkt bzw. eine geringe Anzahl von Produkten, welche in großer Stückzahl produziert werden (Hohe Produktenmenge beträgt 10.000 bis Millionen Einheiten pro Jahr)
- Optimierungspotential des Produktionsvorganges
- Fixkostenverminderung und Reduktion der Gesamtkosten durch bestmögliche Ausnützung der Betriebsmittel.

### Nachteile

- Unflexibilität im Produktionsprozess
- Unzufriedenheit der Mitarbeiter auf Grund homogener Arbeitstätigkeiten, Entfremdung der Arbeitenden, hohe physische und psychische Belastungen
- Kapitalintensive Fixkosten
- Wenn ein Fehler bei einem Produkt entsteht, wird die gesamte Produktion eingestellt und es geht Zeit verloren.

Es gibt zwei Kategorien der Massenproduktion:

## **1. Mengeproduktion**

- die Mengeproduktion von Einzelteilen auf einzelne Maschine oder eine geringe Zahl von Maschinen
- in der Regel beinhaltet Standard-Maschinen mit speziellen Werkzeugen ausgestattet

- die Ausrüstung ist in Vollzeit für die Produktion eines Teiltyps gewidmet
- typische Anordnung in Serienfertigung verwendeten Produkt -Layout und zellulären Layout.

Bei der Produktanordnung sind die Workstations arrangiert in einer langen Reihe, wie in Abbildung 3.1 (d) , oder in eine Reihe verbundener Liniensegmente . Die Arbeit ist in der Regel zwischen den Stationen durch mechanisierte Fördereinrichtungen bewegt. An jeder Station wird eine kleine Menge der gesamten Arbeit auf jeder Einheit des Produkts abgeschlossen.

## 2 . Fließbandfertigung

Zusätzlich zum Prinzip der Massenfertigung entstand das sogenannte Flussprinzip, das durch die Fließbandfertigung realisiert wurde. Hierdurch sollte ein einheitliches Arbeitstempo geschaffen werden, welches die Arbeitsdauer je Produktionsstück enorm verringert und zur Wirtschaftlichkeit beitrug.

- Produkt ist komplex und erfordert mehrere Verarbeitungs- und / oder Montageoperationen
- Mehrere Maschinen oder Arbeitsplätze in der Reihenfolge angeordnet, z.B. Fertigungslinien
- Arbeitseinheiten sind physikalisch durch die Sequenz bewegt, um ein Produkt zu vervollständigen
- Arbeitsstätte und Geräte sind speziell für das Produkt gestaltet , um die Effizienz zu maximieren.

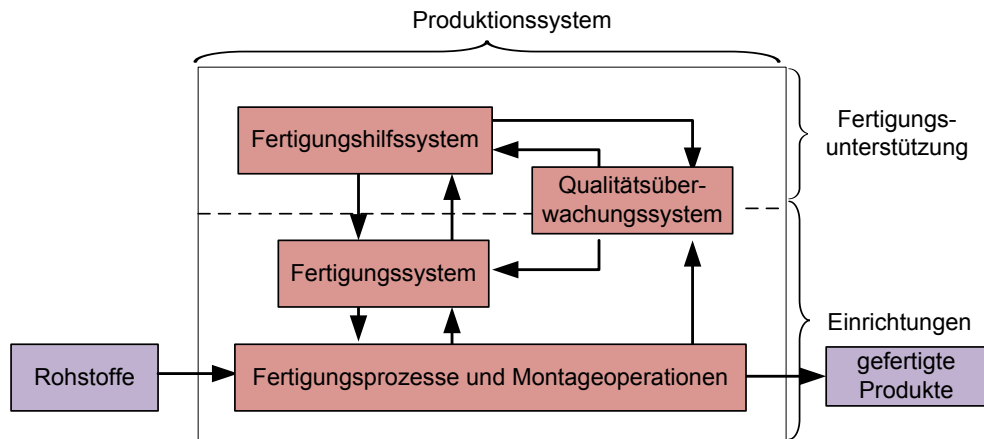
## 3.3 Hilfsproduktionssysteme

Ein Unternehmen muss sich organisieren, um die Prozesse und Ausrüstung zu entwerfen, die Fertigungsaufträge zu planen und zu steuern, und die Anforderungen an die Produktqualität zu erfüllen. Diese Funktionen sind durch das Hilfsproduktionssystem erreichbar. Es besteht aus menschliche Ressourcen und Verfahren, mit den ein Unternehmen seine Produktion verwaltet. Typische Abteilungen (Abbildung 3.2) sind:

**1. Produktionstechnik.** Die Fertigungstechniksabteilung ist verantwortlich für die Planung der Fertigungsprozesse. Sie entscheidet, welche Prozesse verwendet werden sollten, um die Teile zu verarbeiten und dann die als Produkte zu montieren. Diese Abteilung ist auch bei der Gestaltung und Bestellung von Werkzeugmaschinen und anderen Geräten beteiligt, die durch andere Fachabteilungen zur Bearbeitung und Montage verwendet werden.

**2. Produktionsplanung und -steuerung.** Diese Abteilung ist verantwortlich für die Lösung der logistischen Probleme in der Fertigung - Materialbestellung und Komponenteneinkauf, Produktionplanung, und sie dafür sorgt, dass die Fachabteilungen die notwendigen Kapazitäten haben, um die Produktionspläne zu erfüllen.

**3. Qualitätskontrolle.** Herstellung der qualitativ hochwertigen Produkte sollte eine Priorität für produzierendes Unternehmen in der heutigen Wettbewerbssituation sein. Es bedeutet die Entwicklung und Herstellung von Produkten, die der Spezifikation entsprechen und die Erwartungen der Kunden erfüllen oder übertreffen. Qualitätskontrolle Abteilung ist verantwortlich für einen Großteil dieser Bemühungen.



**Abbildung 3.2** Übersicht der Produktionssystem und wichtigen Themen in Grundlagen der Fertigung

# KAPITEL 4.

## Spanende Fertigung

Spanen ist die vielseitigste und genaueste Methode aller Fertigungsprozesse wegen seiner Fähigkeit eine Vielfalt von Teilegeometrien und geometrische Merkmale herzustellen (z.B. Gewinde, Verzahnungen, ebene Flächen, usw.). Durch Gießprozesse kann man auch eine Vielzahl von Formen erreichen, aber es fehlt ihnen die Präzision und Genauigkeit der Bearbeitung.

### 4.1 Spanen. Zweck, Prinzip und Definition

#### ▪ Zweck des Spanens

Die meisten der technischen Komponenten wie Getriebe, Lager, Kupplungen, Werkzeuge, Schrauben und Mutter usw. brauchen die Maß- und Formgenauigkeit und Oberflächegüte um ihrer Zwecke zu dienen.

Urformen wie Gießen, Schmieden usw. können im Allgemeinen nicht die ausreichende Genauigkeit und die Oberflächegüte der bearbeitende Flächen erreichen. Um solche Teile zum Endform gefertigt werden zu können, müssen sie durch Spanen (Schruppen und Schlichten und Schleifen) nachgearbeitet werden. Schleifen ist auch im Grunde ein Zerspanprozess. Hochgenauigkeitsspanen und Feinbearbeitungen ermöglichen im Wesentlichen:

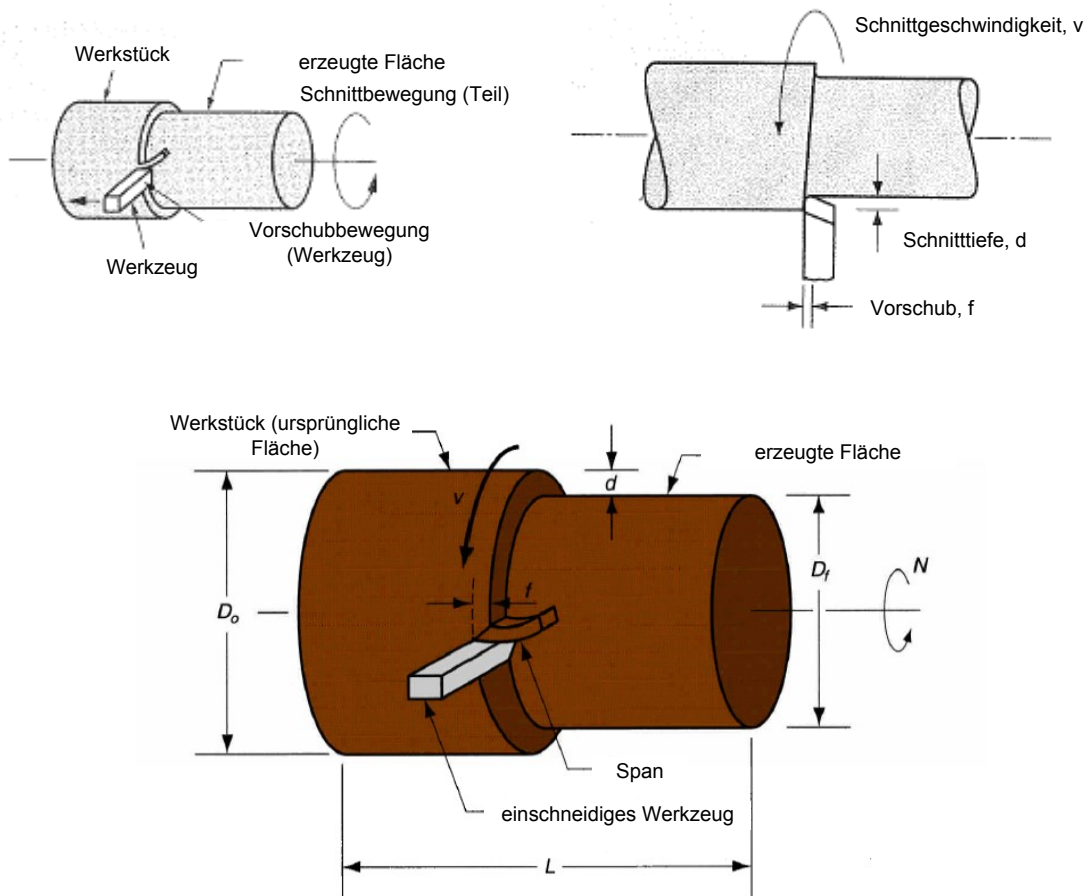
- Erfüllung der funktionalen Anforderungen
- Verbesserung der Produktleistung
- Verlängerung der Produktlaufzeit.

#### ▪ Prinzip des Spanens

Das Grundprinzip des Spanen ist in Abbildung 4.1 gezeigt. Ein metallischer Rohteil von unregelmäßiger Form, Größe und Oberflächegüte wird durch Verarbeiten in einem gefertigten Teil mit entsprechenden Abmessungen und Oberflächenqualität umgewandelt. Dazu benötigt man die Relativbewegungen von Werkzeug-Werkstück Paar.

Das Grundprinzip des Spanens beruht auf dem Eindringen einer keilförmigen **Werkzeugschneide** in die Oberfläche des **Werkstücks** und anschließendem Abschälen einer dünnen Materialschicht als Span. Das Werkzeugmaterial muss dabei stets härter sein als der bearbeitete Werkstoff. Zur Bearbeitung relativ weicher Werkstoffe genügen einfache Stähle als Werkzeugmaterial.

Bei härteren Materialien werden spezielle Werkzeugstähle, Hartmetall, Sinterwerkstoffe, Schneidkeramik, Korund oder Diamant als Schneidstoffe eingesetzt. Die Schneide kann eine exakt definierte Schneidengeometrie aufweisen, wie beispielsweise beim Drehen und Bohren (spanende Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide), oder unregelmäßig geformt sein wie beim Schleifen und Läppen (spanende Bearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide).



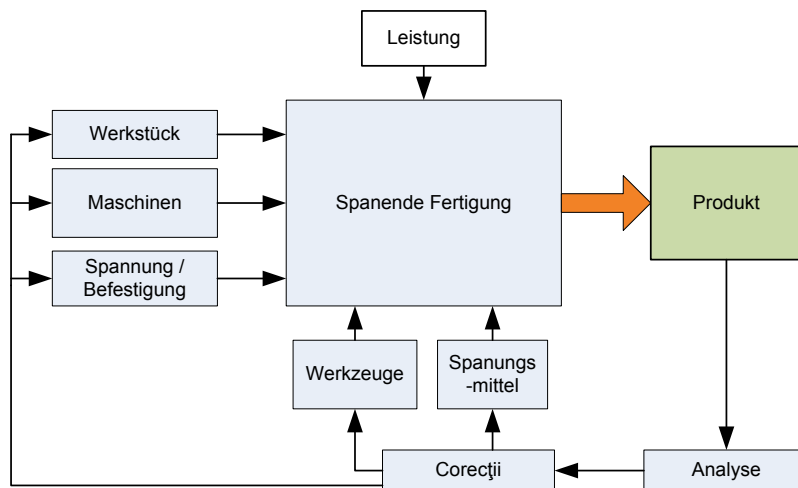
**Abbildung 4.1** Prinzip der Zerspanung (Beispiel: Drehen) [GRO 10]

#### ▪ Definition der Zerspanung

Spanen ist Fertigen durch Stofftrennen. Von einem Rohteil/Werkstück werden durch eine (beim Drehen), mehrere (beim Fräsen) oder viele (beim Schleifen) Schneiden eines Werkzeugs Stoffteile in Form von Spänen mechanisch getrennt.

#### 4.2 Anforderungen des Spanens

Die wesentlichen Grundvoraussetzungen für Spanverfahren sind schematisch in Abbildung 4.2 dargestellt.



**Abbildung 4.2** Anforderungen für die Bearbeitung

Werkstück und Werkzeug sind ordnungsgemäß (mit den Befestigungsvorrichtungen) an die Werkzeugmaschine montiert, die ihre relative Bewegung und schrittweise Entfernung von Material von der Rohteilsoberflächen ermöglicht, um die gewünschten Abmessungen und Oberflächenrauigkeit der bearbeiteten Oberfläche zu erzielen. Zusätzlich werden Kühlschmierstoffen verwendet, um die Verarbeitung unter günstigen Kühlung- und Schmierungsbedingungen zu erleichtern.

**Eine Werkzeugmaschine** kann als ein System beschrieben werden, bei dem wird die Energie für die Verarbeitung von Teilen von gewünschter Größe, Form und Flächegüte verbraucht. Die Verarbeitung erfolgt durch Entfernen von überschüssigem Material von dem Werkstück in Form von Späne durchgeführt wird. Dafür helfen die Werkzeugen bei, die auf der Oberfläche des Werkstücks sich bewegen.

Werkzeugmaschinen erzeugen grundsätzlich geometrische Flächen (plane, zylindrische oder ein Kontur) auf den vorgeformten Rohteilen durch Verarbeitung mit der Hilfe von Schneidwerkzeugen. Die **physikalischen Funktionen** einer Werkzeugmaschine in Bearbeitung sind :

- das Werkstück und das Werkzeug festhalten
- übertragen die Werkstück- und Werkzeugbewegungen
- liefern Leistung/Spankräfte des Werkstück-Werkzeug Paares, um die Bearbeitungsvorgänge durchzuführen
- Steuerung der Bearbeitungsparameter, d.h. Geschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe.

### **4.3. Grundlegende Funktionsprinzipien der Werkzeugmaschinenoperationen**

Werkzeugmaschinen ermöglichen die Verarbeitung der geometrischen Flächen auf den festen Körpern (vorgeformte Werkstücke). Zu diesem Zweck bestehen sie aus:

- Geräte zum Befestigung der Werkzeuge und Werkstücke
- Antriebe für die Bereitstellung von Energie und Werkzeug und Werkstückbewegungen
- kinematisches System, um Bewegung und Kraft aus den Quellen zum Werkzeug- Werkstück Paar zu übertragen
- Automatisierungs-und Leitsysteme
- mechanische Struktur, die alle diese Systeme unterstützt und mit ausreichender Festigkeit und Steifigkeit kompakt hält.

Um das Material vom Werkstück zu entfernen, muss das Schneidwerkzeug und/oder das Werkstück eine relative Bewegung erreichen. Diese Bewegungen und die erforderliche Leistung sind von der Stromversorgung abgeleitet, dann durch kinematisches System weitergegeben.

#### **4.3.1 Konzept der Erzeugende (G- Generatrix) und Leitkurve (D – Direktrix)**

##### **• Erzeugung von ebenen Fläche**

Das Prinzip ist in Abbildung 4.3 dargestellt, wobei auf einer flachen Ebene eine gerade Linie (genannt Erzeugende / Generatrix - G) in einer senkrechten Richtung (genannt Leitlinie / Directrix - D), was eine flache Oberfläche erzeugt.



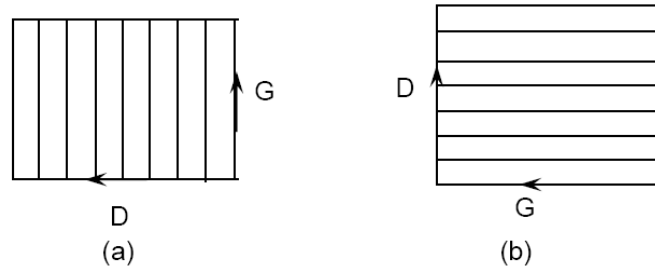


Abbildung 4.3 Erzeugung der ebenen Flächen von Erzeugende und Leitkurve [GRO 10]

#### • Erzeugung von zylindrischen Oberflächen

Die Prinzipien der Erzeugung von verschiedenen **zylindrischen Oberflächen** (Rotationsoberflächen) sind in Abbildung 4.4 gezeigt, wo,

- Eine **lange gerade zylindrische Oberfläche** ist mit **einem Kreis (G)** in der **Richtung (D)** parallel zu der Achse zu erhalten, wie in Abb. 4.4 (a) dargestellt;
- Eine **zylindrische Oberfläche mit kurzer Länge** wird durch Durchlaufen **einer Geraden (G)** entlang **einer kreisförmigen Bahn (D)** erhalten, wie in Abb. 4.4 (b) gezeigt;
- Bildung der **zylindrischen Oberflächen** durch Drehung **einer gekrümmten Linie (G)** in einer **kreisförmigen Bahn (D)**, wie in Abb. 4.4 (c) und (d) angegeben.

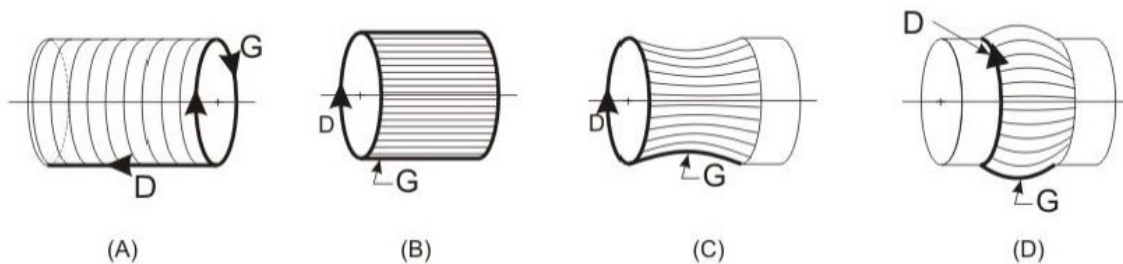


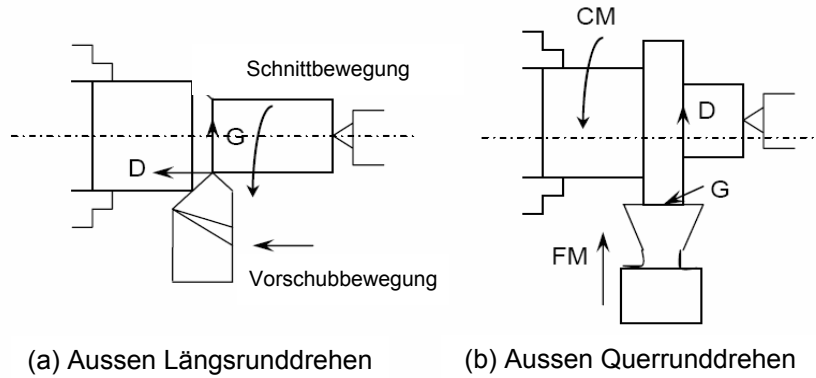
Abbildung 4.4 Generierung von zylindrischen Oberflächen (Rotationsoberflächen) [GRO 10]

#### 4.3.2 Werkzeug- und Werkstückbewegungen

Die Linien (Erzeugende G und Leitkurve D) werden in der Regel als geometrischer Ort eines in zwei verschiedene Richtungen bewegten Punkts hergestellt. Die sind tatsächlich durch die Bewegungen der Werkzeugspitze relativ zu der Werkstücksfläche erhalten. Daher zur Bearbeitung der flachen oder gekrümmten Oberfläche auf Werkzeugmaschinen sind relative Bewegung zwischen Werkzeug und Werkstück notwendig. Diese Bewegungen sind in den folgenden **zwei Gruppen** eingeteilt:

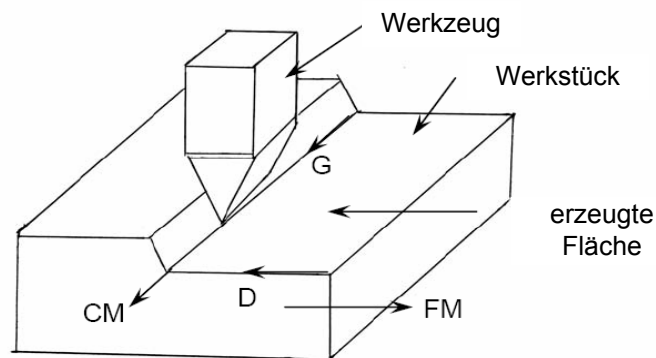
- Erzeugende Bewegungen (Hauptbewegungen) nämlich
  - Schnittbewegung (**CM**)
  - Vorschub (**FM**) .
- Hilfsbewegungen wie
  - Indizierungsbewegung
  - zusätzliche Vorschubsbewegungen
  - andere Hilfsbewegungen.

Die **Erzeugende** und die **Leitkurve**, das Werkzeug, das Werkstück und ihre Bewegungen bleiben im Allgemeinen miteinander verbunden und unterscheiden sich für verschiedene Spanverfahren. Solche Verbindungen bei Drehen und Hobeln sind in Abbildung 4.5 bzw. in Abbildung 4.6 gezeigt.



**Abbildung 4.5** Prinzip des Drehens (zylindrische Oberfläche) [GRO 10]

Die Verbindungen im Fall von außen **Längsrunddrehen** (Abbildung 4.5 (a)) und **Querrunddrehen** (Abbildung 4.5 (b)) sind: Erzeugende (G) - Schnittbewegung (CM) - Werkstück (W), Direktrix (D) - Vorschub (FM) - Werkzeug (T).



**Abbildung 4.6** Prinzip der Herstellung von flachen Oberfläche in Stoßmaschine [GRO 10]

Im Fall der Herstellung einer **ebenen Fläche in Stoßmaschine** nach Bild 4.6 die Anschlüsse sind: **G - CM - T, D - FM - W**. Dies zeigt, dass zur Stoßen der flache Oberflächen die Erzeugende (G) durch die Werkzeugbewegung durchgeführt wird und die Leitlinie (D) durch die Vorschubbewegung des Werkstücks bestimmt ist.

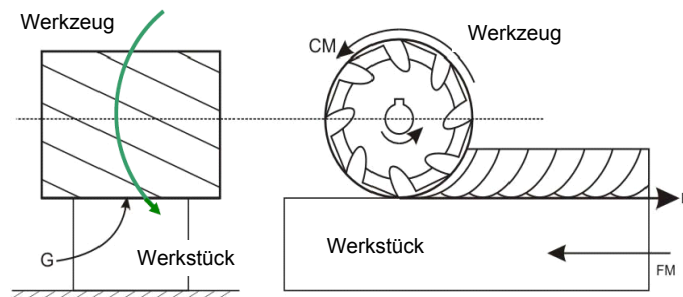
Flache Oberflächen sind auch durch die Planen auf Hobelmaschine herzustellen, vor allem für Bearbeitung großer Teilen. Das Werkzeug führt die Vorschubbewegung durch und das Werkstück nimmt die Schnittbewegung über. In diesem werden Fall sind die Verbindungen: **G - CM - W, D - FM - T**.

Die Erzeugende und Leitlinie können auf vier Arten erhalten werden:

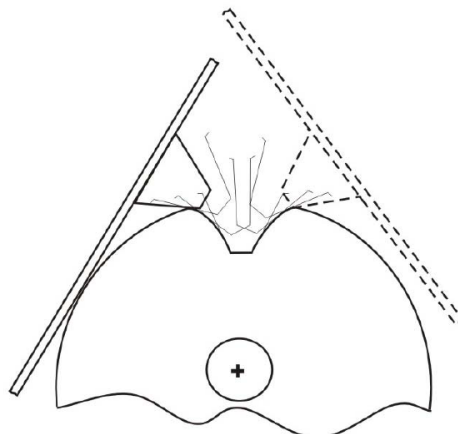
- 1) **Aufspüren (Tracing) (Tr)** - wobei die kontinuierliche Linie als eine Spur von Weg eines beweglichen Punkt erreicht wird, wie in Abb. 4.5 und Abb. 4.6 gezeigt.
- 2) **Formen (F)** - wobei die Erzeugende einfach das Profil der Schneidkante ist, wie in Abb. 4.4 (c) und (d) angegeben.
- 3) **Tangentenaufspüren (TTr)** - wobei die Leitlinie als die Tangente an die Serie der Schneidkanten Pfaden zurückgeführt ist, wie in Fig. 4.7 gezeigt.
- 4) **Erzeugung (G)** - In diesem Fall ist G oder D als Hüllkurve der Tangenten an die momentane Position einer Linie oder Fläche, die auf einer anderen Oberfläche wälzen, erhalten. Verzahnungserzeugung ist ein Beispiel, wie in Abbildung 4.8 zu sehen ist.

Abbildung 4.7 zeigt typischerweise die Werkzeug- und Werkstückbewegungen und die entsprechenden Erzeugende (G) und Leitlinie (D) beim Fräsen einer flachen Oberfläche in einem herkömmlichen horizontalen Fräsmaschine. Die G und D werden hier mit den Werkzeug- und Werkstückbewegungen verbunden: **G - x - T - F, D - FM - W - TTr, CM - T.**

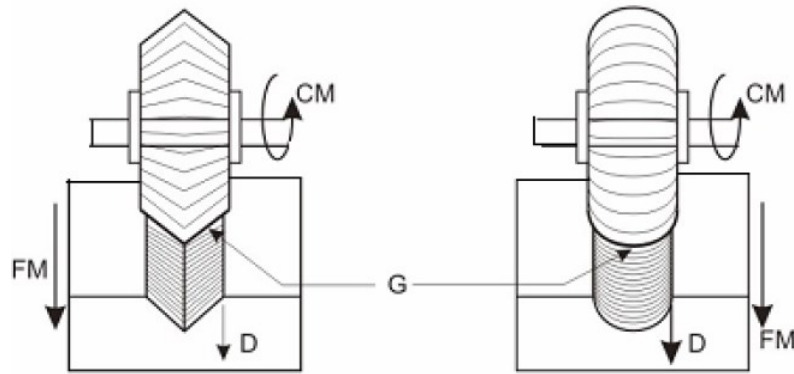
Hier G und D sind unabhängig von der Schnittbewegung. Die G ist der Kontaktlinie zwischen dem Fräser und der ebenen Werkstückfläche. Die vorliegende Fräser hat eine kreiszylindrische Form, G ist eine Gerade und die erzeugte Oberfläche wurde flach. Formfräser produzieren ähnlich geformten Oberflächen, wie in Abb. 4.9 gezeigt, wo G das Werkzeugprofil ist.



**Abbildung 4.7** Leitkurve durch Tangenteaufspüren in Planfräsen [GRO 07]



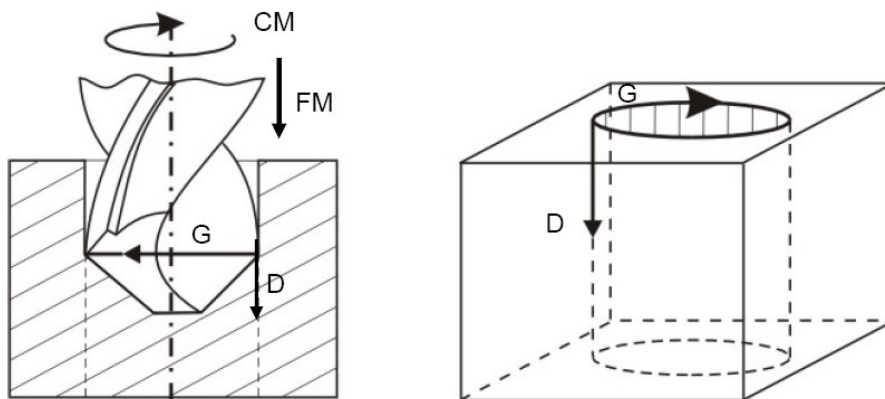
**Abbildung 4.8** Erzeugende in Verzahnung



**Abbildung 4.9** Werkzeug - Werkstückbewegungen und G & D in Formfräsen [GRO 10]

Zur Herstellung von Bohrungen in Bohrmaschinen sind sowohl die Schnittbewegung und die Vorschubbewegung am Schneidwerkzeug (d.h. Bohrer) ausgeübt, während das Werkstück stationär bleibt. Dies wird in Abbildung 4.10 gezeigt. Die G und D sind mit dem Werkzeug und Werkstück in der folgenden Weise verbunden: **G - CM - T - Tr, D - FM - W - Tr.**

In Bezug auf die Werkzeug - und Werkstückbewegungen und G - D sind vertikale Aufbohren und Bohren gleich.



**Abbildung 4.10** Werkzeug - Werkstückbewegung und G&D in Bohren [GRO 10]

### 4.3.3 Werkzeugmaschinenantriebe

Für die gewünschte **Werkzeug- und Werkstückbewegungen**, werden die Werkzeugmaschinen durch elektrische **Motoren** und Verwendung verschiedenen **Mechanismen** (wie Flachriemenscheiben, Zahnräder usw) gesteuert. In einigen Werkzeugmaschinen, werden die Werkzeug/Werkstückbewegungen durch hydraulischen Antrieb ebenfalls vorhanden.

In der Regel erlauben die Werkzeugmaschinen weite Bereiche der Schnittgeschwindigkeiten und Vorschube, um zu ermöglichen:

- Verarbeitung verschiedener Bauteile
- Verwendung verschiedener Schneidwerkzeuge (Material, Geometrie, Größe)
- Verschiedene Bearbeitungen, z.B: vom Drehen mit hoher Geschwindigkeit bis Gewindeschneiden mit niedriger Drehzahl
- hohe Oberflächengüte.

Werkzeugmaschinenantrieb können sein:

- Abgestufter Antrieb
- Stufenloser Antrieb.

**Die abgestuften Antriebe** sind sehr häufig in konventionellen Werkzeugmaschinen angewendet, wo eine diskrete Anzahl von Drehzahlen und Vorschübe (vorzugsweise in Geometrische Progression- GP Serie) verfügbar sind. Die moderne CNC-Werkzeugmaschinen sind mit stufenlosen Antriebe vorgesehen, was eine optimale Auswahl und flexibel automatische Steuerung der Drehzahlen und Vorschübe zur Verfügung stellt. Die abgestuften Antriebe werden durch die Verwendung des Getriebes oder Kegeleriemenscheibe (alte Methode ) zusammen mit der Stromquelle erreicht.

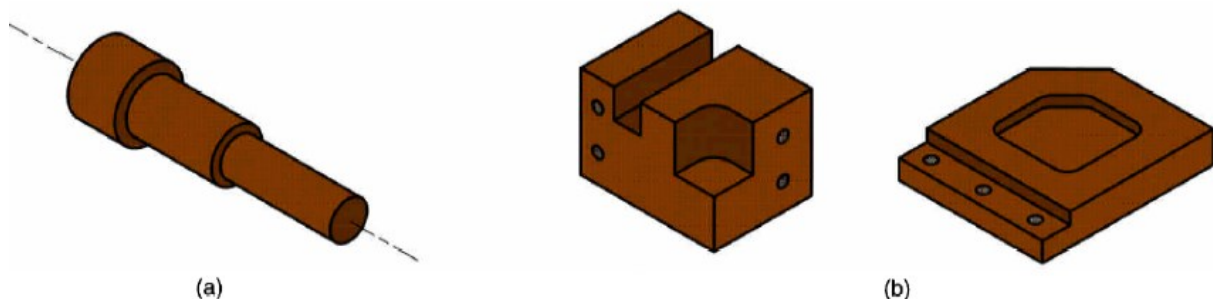
**Stufenloser Antrieb** wird in der Regel erreicht durch:

- Variable Geschwindigkeit von Allstrom motoren (AC oder DC Motoren)
- Schrittantriebe oder Servomotoren
- Hydraulikaggregat.

#### 4.4 Einstufung der bearbeiteten Bauteile

Die Zerspanung ist ein Materialabtragverfahren bei dem eine scharfe Schneidwerkzeug zum mechanischen Trennen des aufgeschnittenen Materials verwendet wird, so dass die gewünschte Werkstückgeometrie bleibt. Bearbeitete Bauteile können in **drehende** und **nicht drehende Teile** klassifiziert werden (Abbildung 4.11).

**Einer Rotationbauteil** hat eine **zylindrische** oder **scheibenförmige Geometrie**. Die Operation, durch diese Form erzeugt werden kann, ist die in der ein Schneidwerkzeug Material von einem rotierenden Werkstück entfernt. Beispiele sind Drehen und Bohren. Aufbohren ist eng mit Ausnahme, dass eine innen zylindrische Form erstellt wird und das Werkzeug (statt Werkstück) in den meisten Aufbohrarbeiten dreht.

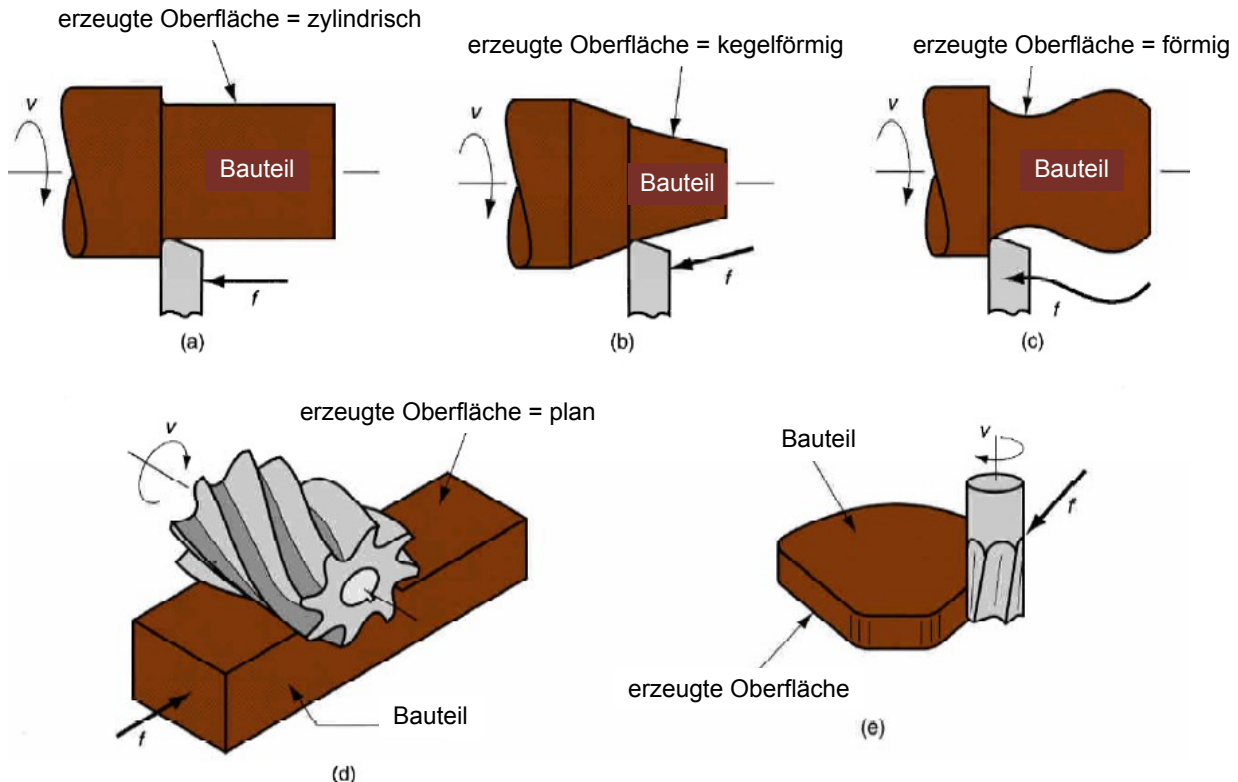


**Abbildung 4.11** Klassifizierung von bearbeiteten Teilen [GRO 07]

**Einer nicht Rotationsbauteile** (auch **prismatisch** genannt) ist block- oder plattenförmig, wie in Abbildung 4.11 (b) gezeigt. Diese Geometrie wird durch lineare Bewegung des Werkstücks erreicht, in Kombination mit entweder rotierend oder linear Werkzeugbewegungen. Operationen in dieser Kategorie sind: Fräsen, Planen, Hobeln, Stoßen und Sägen.

## 4.5 Erzeugung und Formung der Teilformen

Jede Bearbeitungsoperation erzeugt eine charakteristische Geometrie auf Grund der zwei Faktoren: (1) die relativen Bewegungen zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück, (2) die Form des Schneidwerkzeugs. Diese Vorgänge könnten eingestuft werden: eine Bauteilform kann durch die **Erzeugung** oder die **Formung** geschaffen werden.

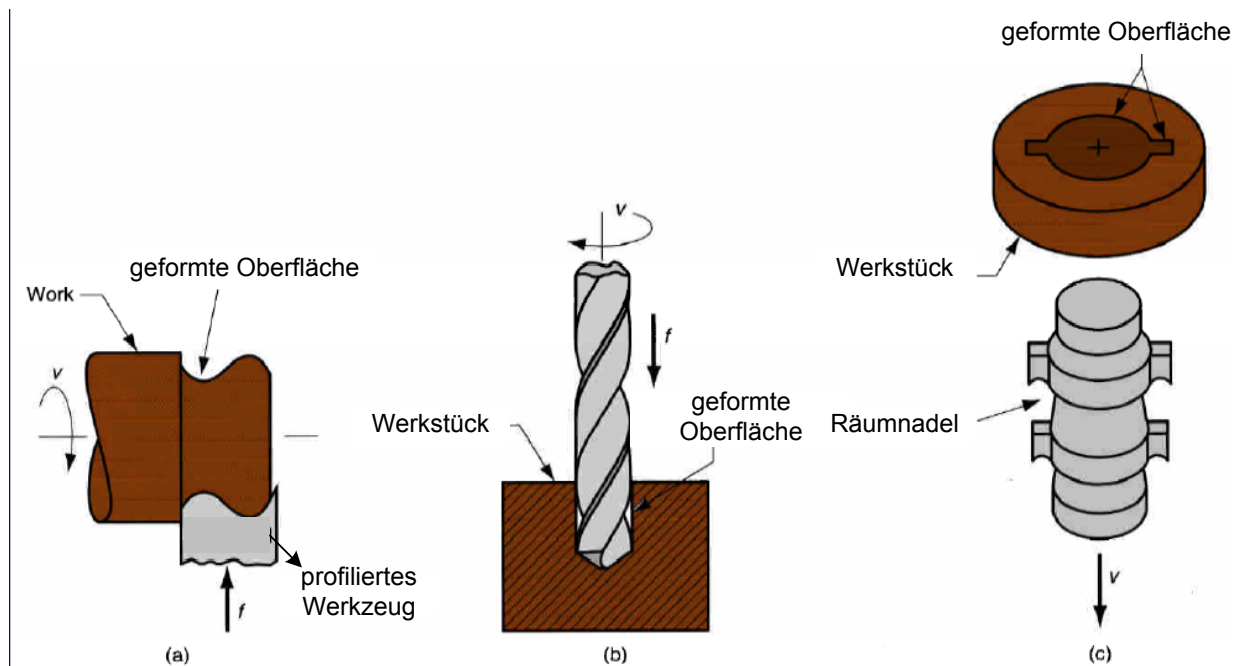


**Abbildung 4.12** Formerzeugung in Zerspanung: (a) Außen Längsrunddrehen, (b) Kegeldrehen, (c) Konturdrehen, (d) Umfangsfräsen und (e) Profilfräsen [GRO 07]

Bei der **Erzeugung** wird die Geometrie des Werkstücks durch den Pfad der Vorschubbewegung von Werkzeug bestimmt. Der Pfad des Werkzeuges während seiner Vorschubbewegung folgt auf die Arbeitsfläche aufgebracht, um die Formen zu erstellen. Beispiele für Erzeugung der Werkstückform beim Spanen umfassen: **Längsrunddrehen**, **Konturdrehen** **Umfangsfräsen** und **Profilfräsen**, wie in Abbildung 4.12 dargestellt ist. In jedem dieser Vorgänge wird Materialabtrag durch die Schnittbewegung ausgeführt, aber die Bauteilform wird durch den Vorschub ermittelt. Der Pfad der Vorschubbewegung kann Variationen in der Schnitttiefe oder -breite während des Vorganges. Zum Beispiel, im Konturdrehen und Profilfräsen (vorhergehende Figur), verursacht die Vorschubbewegung die Veränderungen in der Schnitttiefe bzw. -breite.

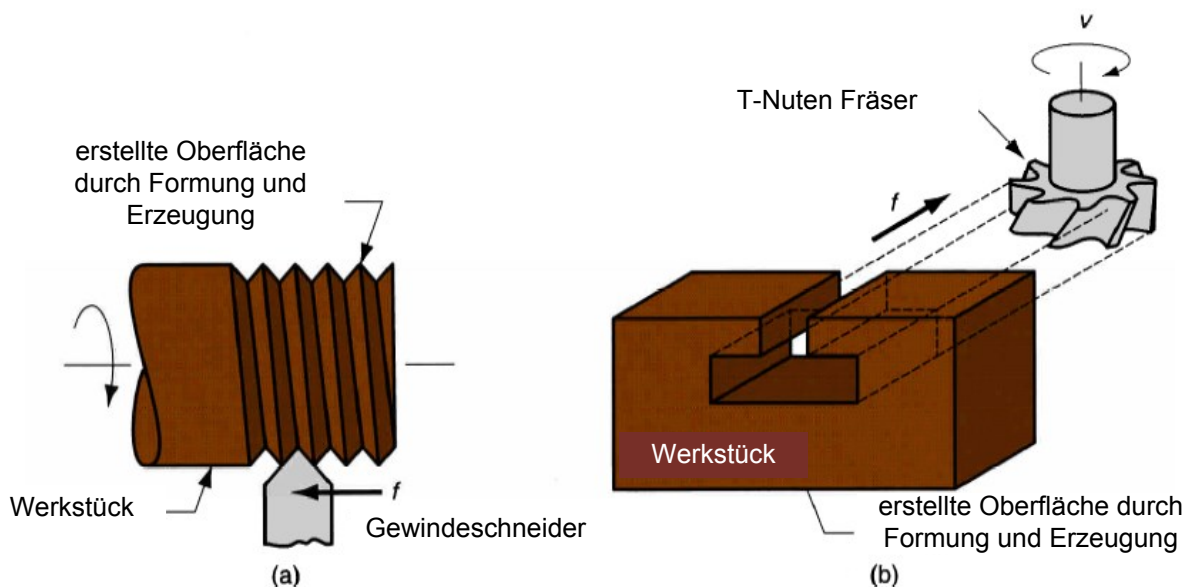
Bei der **Formung (Kopieren)** wird die Form des Teils durch die Geometrie des Schneidwerkzeugs erzeugt. In der Tat hat die Schneide des Werkzeuges die komplementäre Form der gefertigten Werkstückoberfläche. Formdrehen, Bohren und Räumen sind Beispiele für diesen Fall. Bei der in Abbildung 4.13 dargestellten Vorgängen ist die Form des Schneidwerkzeugs aufs Werkstück übermittlelt, um die Teilegeometrie zu erstellen.

Die Schnittbedingungen bei der Formung umfassen in der Regel die Schnittbewegung kombiniert mit der Vorschubbewegung, die auf dem Werkstück gerichtet ist. Schnitttiefe in dieser Kategorie der Bearbeitung bezieht sich in der Regel auf die endgültigen Eindringen im Werkstück, nachdem die Vorschubbewegung abgeschlossen ist.



**Abbildung 4.13** Formung um Bauteilformen zu erstellen: (a) Formdrehen, (b) Bohren, und (c) Räumen [GRO 07]

Formung und Erzeugung sind manchmal in einem Arbeitsgang kombiniert, wie in Abbildung 4.14 zum Gewindedrehen auf der Drehmaschine und Nutenfräsen dargestellt. In Gewindeschneiden, bestimmt die spitze Form des Schneidwerkzeug die Form der Fäden, aber die großen Vorschub erzeugt die Fäden. Im Nutfräsen bestimmt die Breite der Schneide die Nutebreite, aber die Vorschubbewegung erzeugt die Nute.



**Abbildung 4.14** Kombination von Formung und Erzeugung zur Formerstellung: (a) Gewindeschneiden auf der Drehmaschine, (b) Nutenfräsen [GRO 07]

## 4.6 Konfiguration von Werkzeugmaschinen und ihre Verwendung

### 4.6.1 Drehmaschine

Allgemeine Konfiguration der Drehmaschine ist in Abbildung 4.15 dargestellt. Seine wichtigsten Komponenten sind:

- **Gestell.** Das Gestell ist entweder eine geschweißte Stahlkonstruktion oder aus Gusseisen gefertigt, selten auch als Verbundbauweise mit Beton und Kunststoff. Es trägt das Gewicht aller Bauteile, fängt die Kräfte aus dem Bearbeitungsprozess ab und muss dementsprechend stark und verwindungssteif konstruiert sein.

Zusätzlich muss es eine gute Dämpfung besitzen, um Schwingungen innerhalb der Maschine zuverlässig abbauen zu können. Gestell und das unten aufgeführte Maschinenbett bilden bei regulären Baugrößen eine Einheit

- **Spindelstock.** Der Spindelstock liegt beinahe bei jeder Maschine auf der linken Seite. In kräftigen, vorgespannten und einstellbaren Präzisionswälzlagern wird dort die Arbeitsspindel geführt, welche oftmals als Hohlwelle ausgeführt ist, da dies die Formstabilität nur wenig beeinflusst und eine Versorgung des Futters mit Stangenmaterial ermöglicht.

Über Riementrieb (Flach-, Keil, oder Zahnriemen) und Getriebe ist die Arbeitsspindel mit dem Motor gekoppelt. Die Drehmomentübertragung von der Hauptspindel auf das Werkstück erfolgt über verschiedene Werkstückaufnahmesysteme, wie Spannfutter, Spannzange, Planscheibe und andere.

- **Reitstock und Lünette.** Der **Reitstock** dient zum Abstützen langer Drehteile mittels einer **Zentrierspitze**, die in die stirnseitig in das Werkstück eingebrachte Zentrierbohrung eingreift. Konventionelle Maschinen verfügen über eine **Pinole**

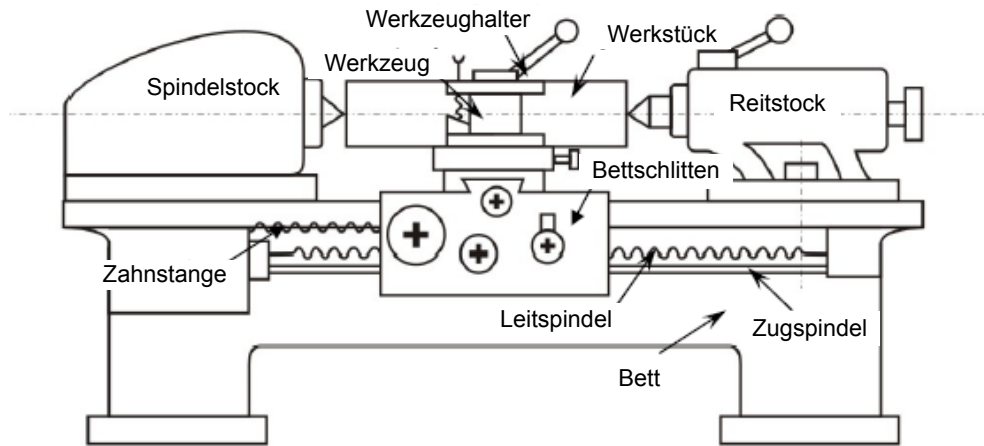
im Reitstock mit **Morsekegelaufnahme** für Bohrfutter oder große Bohrer. Mit der **Lünette** können lange, dünne Drehteile an jeder beliebigen Stelle abgestützt werden. Sie verhindert ein Schwingen und Durchbiegen des Werkstücks aufgrund des Eigengewichts und der Bearbeitungskräfte.

- **Beförderung: beherbergt die Werkzeughalter**

- **Drehmaschinenbett.** Das waagerechte Maschinenbett liegt an beiden Enden auf dem Gestell auf und trägt Werkzeugschlitten, Reitstock und Lünette. Da sich bei Drehmaschinen die Schneide ständig im Eingriff befindet, werden Maschinenteile zum Schwingen angeregt.

- **Werkzeugschlitten.** Auf dem Bett verfährt in Längsrichtung der meist als Kreuzsupport ausgeführte Werkzeugschlitten, auf dem der Planschlitten quer zur Drehachse verfährt. Als Werkzeugträger befindet sich bei der handbedienten Leit- und Zugspindeldrehmaschine oben auf dem Oberschlitten, der einen Werkzeughalter (oft als Schnellwechselhalter für wirtschaftlichen Werkzeugwechsel ausgeführt) trägt, bei CNC-Drehmaschinen auch oft einen Werkzeugrevolver zur Aufnahme mehrerer Werkzeuge





**Abbildung 4.15** Schematische Darstellung einer Drehmaschine [AWI www]

In Bezug auf die Verwendung von Drehmaschinen, sind sie sehr vielseitig und verwendet für verschiedene Operationen:

- Drehen : innen und außen (gerade, kegel, stufen)
- Planen, Profilbohren, Bohren, Einstechen und Abstechen
- Innen und Außen Gewindeschneiden

Einige dieser Vorgänge werden in Abbildung 4.16 gezeigt. Mehrere andere Operationen können auch in Drehmaschinen mit geeigneten Anlagen erfolgen.

	Runddrehen	Querplandrehen	Einstechen	Formdrehen	Gewindedrehen
außen					
innen					

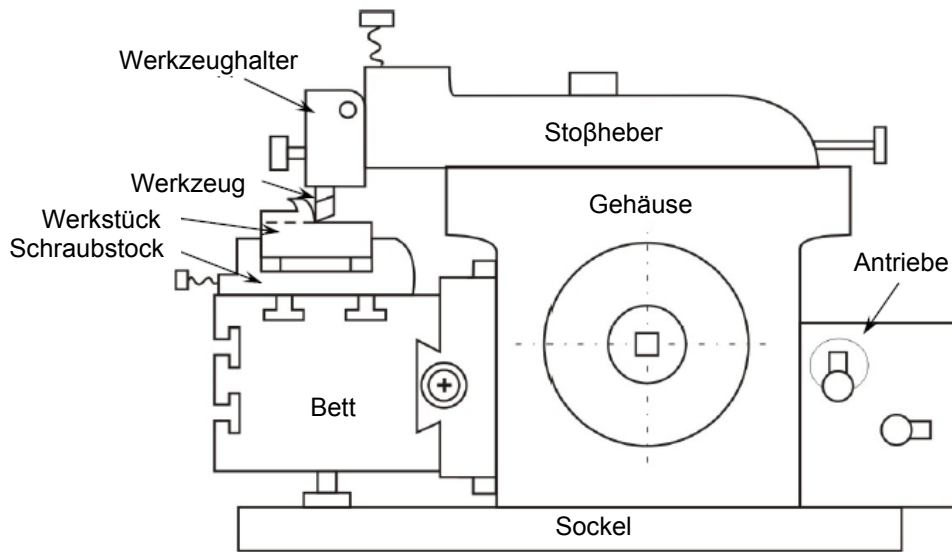
**Abbildung 4.16** Einige Vorgänge in Drehmaschine [AWI www]

#### 4.6.2 Stoßmaschine

Abbildung 4.17 zeigt die allgemeine Konfiguration der **Stoßmaschine**. Seine wichtigsten Teile sind:

- **Stoßheber**: es hält und vermittelt schneidenden Bewegung auf das Werkzeug durch Pendeln
- **Bett**: es hält und vermittelt Vorschübe für das Werkstück
- **Gehäuse** mit Sockel: umfasst die grundlegende Struktur und die Antriebe

- **Steuerung** mit Drehzahl- und Vorschubmechanismen.



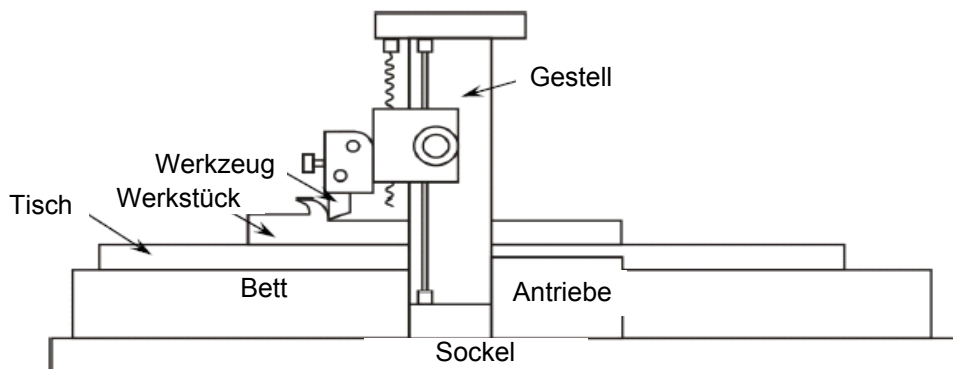
**Abbildung 4.17** Schematische Darstellung einer Stoßmaschine [AWI www]

**Stoßmaschinen** werden in der Regel zur Herstellung von flachen Oberflächen, Einstechen, Abstechen usw. Wegen der schlechten Produktivität und Prozessfähigkeit sind diese Werkzeugmaschinen nicht weit verbreitet heutzutage für die Produktion.

#### 4.6.3 Hobelmaschine

Die allgemeine Konfiguration dieser Maschine ist schematisch in Abbildung 4.18 dargestellt. Diese Werkzeugmaschine tut auch die gleichen Operationen wie Stoßmaschine aber die großen Unterschiede sind:

- Im Gegensatz der Stoßmaschine, bei der das Werkstück die Bewegung hin und her durchführt und das Werkzeug sich langsam für die Vorschubausführung bewegt.
- Hobelmaschinen sind in der Regel sehr groß und für große Aufträge und schwere Bauteile geeignet.

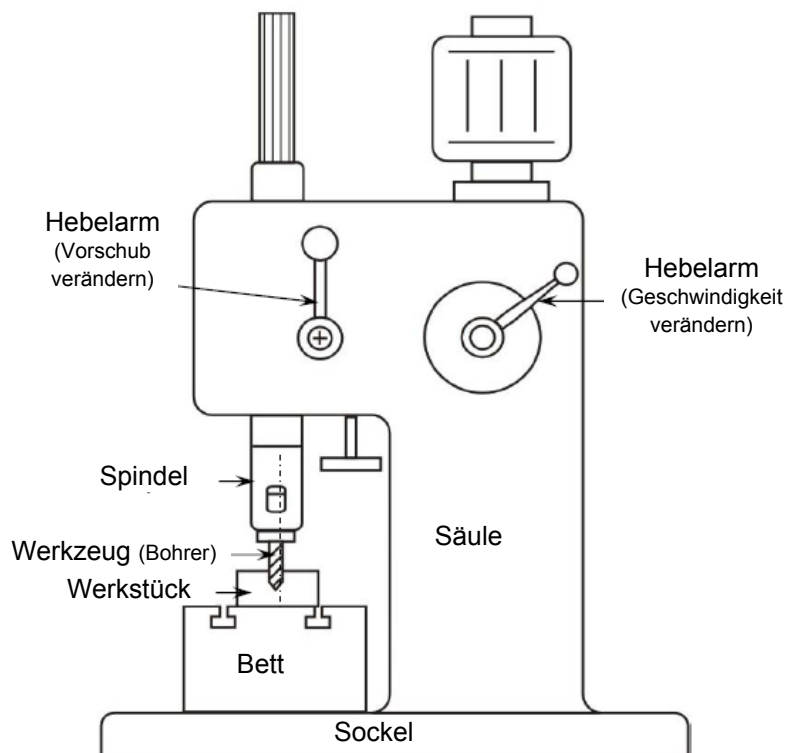


**Abbildung 4.18** Schematische Darstellung einer Hobelmaschine [AWI www]

#### 4.6.4 Bohrmaschine

Abbildung 4.19 zeigt die allgemeine Konfigurationen der Bohrmaschine, im Besonderen der Säulenbohrmaschine. Die wesentlichen Teile sind:

- **Spalte** mit Sockel: es ist die grundlegende Struktur, die anderen Teile halt.
- **Bohrkopf** : Dieses Struktur beherbergt die
- **Antriebe** und die Drehzahl- und Vorschubgetriebe
- **Spindel**: hält den Bohrer und überträgt Drehung und axiale Verschiebung auf das Werkzeug, für die Bereitstellung der Schnitt/ und Vorschubsbewegungen - beide auf den Bohrer.



**Abbildung 4.19** Schematische Darstellung einer Bohrmaschine [AWI www]

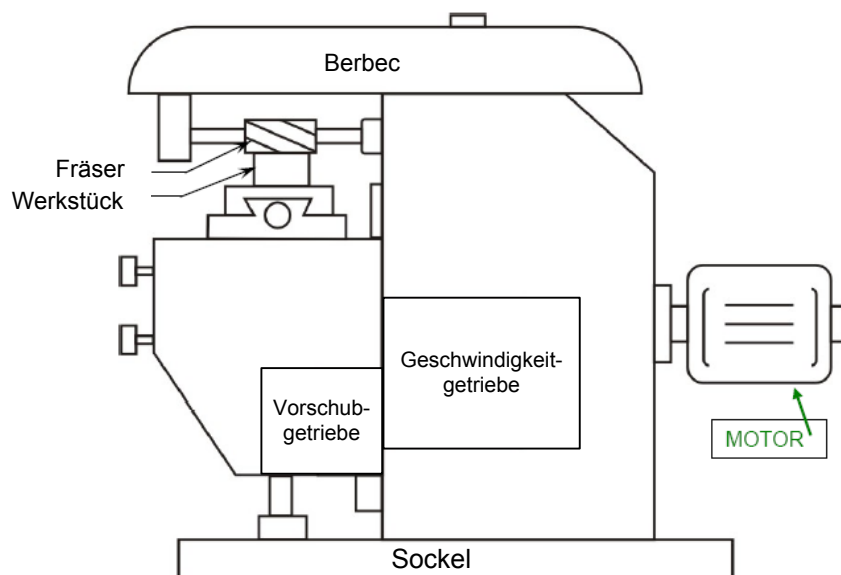
Bohrmaschinen sind in unterschiedlicher Größe und Konfiguration wie Säulenbohrmaschine, Radialbohrmaschine verfügbar, aber als Arbeitsprinzip sind alle mehr oder weniger gleich. Bohrmaschinen verwendet sich um:

- hauptsächlich zum Bohren (Bohren ins Volle oder Vergrößerung zylindrischer Löcher )
- gelegentlich zum Aufbohren , Senken, Zentrierbohren usw.
- mit geeigneten Anlage auch zum Schneiden von Innengewinden in Teile wie Muttern.

#### 4.6.5 Fräsmaschine

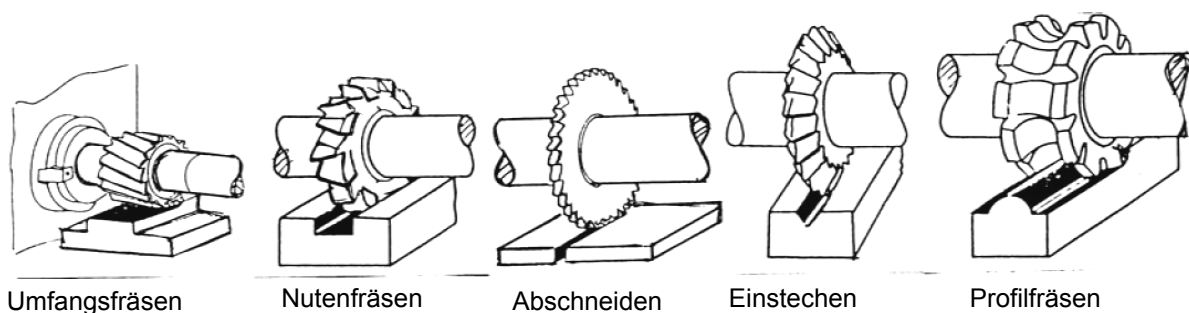
Die allgemeine Konfiguration der herkömmlichen Konsolfräsmaschine mit horizontaler Arbeitsspindel wird in Abbildung 4.20 gezeigt. Ihre wichtigsten Teile sind:

- **Frässpindel:** halten und drehen das Werkzeug
- **Stoßheber** befestigt den Spindel
- **Maschinetisch:** auf dem das Werkstück und Werkstückhaltevorrichtungen befestigt sind, um die Vorschübe am Werkstück zu bewirken
- **Antriebe** beinhaltet hohe Geschwindigkeit- und Vorschubgetriebe: und bietet die Bewegungen auf Werkzeug und Werkstück
- **Bett:** die vertikal nach oben und unten sich bewegt und umfasst verschiedenen Antriebe
- **Säule mit Sockel:** Hauptstruktur der Maschine, die andere Komponenten unterstellt.



**Abbildung 4.20** Schematische Darstellung einer Fräsmaschine [AWI www]

Fräsmaschinen sind auch sehr vielseitig und erlauben mehrere Operationen durchzuführen, wie :• die ebenen Oberflächen, • Längsnuten, Einstechen und Abstechen, • spiralförmigen Nuten, • 2D und 3D Formfräsen. Abbildung 4.21 zeigt einige der vorgenannten Fräsvorgänge.



**Abbildung 4.21** Einige häufige Fräsvorgänge [GRO 07]

## 4.7 Angaben von Werkzeugmaschinen

Werkzeugmaschine kann eine große Anzahl von verschiedenen Funktionen und Eigenschaften haben. Aber nur einige spezifische hervorstechenden Merkmale sind für die Angabe einer Werkzeugmaschine verwendet. Alle Hersteller, Händler und Anwender müssen wissen, wie Werkzeugmaschinen, erfasst werden. Die Methoden der Spezifikation von einigen grundlegenden Werkzeugmaschinen sind wie folgt:

### • Drehmaschine

- Maximaler Durchmesser und Länge der Arbeitsplätze, die gefertigt werden können
- Leistung der Hauptantrieb (Motor)
- Bereich von Drehzahlen
- Bereich von Vorschübe
- Arbeitsraum-Bestimmung.

Mit den Maßen der Drehmaschinekomponenten lassen sich zunächst einige charakteristische Angaben machen über mögliche Abmessungen von Werkstücken, die sich auf der Drehmaschine bearbeiten lassen. Man unterscheidet folgende Begriffe:

- Drehlänge zwischen den Spitzen, Alternativangabe: Spitzenweite
- Umlaufdurchmesser über dem Bett, Alternativangabe: Spitzenhöhe
- Umlaufdurchmesser über dem Bettschlitten

### • Stoßmaschine

- Länge , Breite und Tiefe des Bettes
- Maximale axiale Bewegung des Bettes und vertikale Bewegung des Bettes / Werkzeug
- Maximale Länge des Hubs (der ram / Werkzeug)
- Reichweite der Anzahl der Schläge pro Minute
- Reichweite von Tischvorschub
- Leistung der Hauptantrieb
- besetzter Arbeitsraum-Bestimmung .

### • Bohrmaschine ( Spalten Typ)

- Maximale Bohrer (Durchmesser ) , die verwendet werden können
- Größe und verjüngen sich von der Bohrung in der Spindel
- Bereich von Drehzahlen
- Reichweite von RSS-Feeds
- Leistung der Hauptantrieb
- Bereich der axialen Bewegung der Spindel / Bett
- besetzter Arbeitsraum-Bestimmung.

- **Fräsmaschine**

- Typ, gewöhnliche oder Schwenken Bett-Typ
- Größe des Arbeitstisches
- Reichweite von Reisen der Tabelle in XYZ-Richtungen
- Laube Größe (Durchmesser)
- Leistung der Hauptantrieb
- Reichweite der Spindeldrehzahl
- Reichweite von Tischvorschübe in X -Y- Z-Richtung
- besetzter Arbeitsraum-Bestimmung.

TECHNICAL UNIVERSITY OF CLUJ-NAPOCA  
MACHINE BUILDING FACULTY  
DEPARTMENT OF MANUFACTURING ENGINEERING

# **MANUFACTURING FUNDAMENTALS**

**Assoc.prof.dr.eng. Domnița FRĂȚILĂ**

Cluj-Napoca  
2019

# PREFACE

**Manufacturing Fundamentals** is designed for a course in manufacturing at basic level in mechanical, industrial and manufacturing curricula. Most of the book content is concerned with manufacturing processes but also provide information of materials and production systems. Materials, processes and systems are the three basic blocks of modern manufacturing and the board areas covered in the book.

The book is dedicated to the students form Industrial Engineering specialization for instructional objectives. Using it the students would be able to:

- Identify the **necessity** of manufacturing
- Define with examples the **concept** of manufacturing
- List the **main classifications** of the **manufacturing processes** with examples
- State the **main purposes** of machining
- Define with examples the concept, principles and main requirements of machining
- Define the concept of machine tools and state with examples the **main functions** of **machine tools**
- Describe the basic **functional principles of machine tools**
  - Illustrate the concept of *Generatrix* and *Directrix*
  - Demonstrate *Tool – work motions*
  - Give idea about *machine tool drives*
- Show **configuration of basic machine tools** and state their uses
- Give examples of machine tools - specification

Basic information presented in this book is systematically structured and well understandable.

Author



# Content

<b>CHAPTER 1. Manufacturing. Need and concept .....</b>	<b>105</b>
1.1 What is manufacturing? .....	106
1.2 Manufacturing industries and products .....	110
1.3 Production quantity .....	111
1.4 Product variety .....	111
1.5 Manufacturing capability .....	112
1.6 Materials in manufacturing .....	113
<b>CHAPTER 2. Broad Classification of Engineering Manufacturing Processes .....</b>	<b>116</b>
2.1 Processing operations .....	117
2.2 Assembly operations .....	119
<b>CHAPTER 3. Production Machines and Tooling .....</b>	<b>121</b>
3.1 Machinery and Tooling .....	121
3.2 Production system .....	121
3.3 Manufacturing support systems .....	124
<b>CHAPTER 4. Machining .....</b>	<b>126</b>
4.1 Machining – Purpose, Principle and Definition .....	126
4.2 Machining requirements .....	127
4.3. Basic functional principles of machine tool operations .....	128
4.3.1 <i>Concept of Generatrix and Directrix</i> .....	128
4.3.2 <i>Tool – work piece motions</i> .....	129
4.3.3 <i>Machine tool drives</i> .....	132
4.4 Classification of machined part .....	133
4.5 Generating and forming of part shape .....	133
4.6 Configuration of Basic Machine Tools and their use .....	136
4.6.1 <i>Centre lathes</i> .....	136
4.6.2 <i>Shaping machine</i> .....	137
4.6.3 <i>Planing machine</i> .....	138
4.6.4 <i>Drilling machine</i> .....	138
4.6.5 <i>Milling machine</i> .....	139
4.7 Specification of Machine Tools .....	140

# CHAPTER 1.

## Manufacturing. Need and concept

### 1.1 What is manufacturing?

**Manufacture** is derived from two Latin words *manus* (hand) and *factus* (make); the combination means “**made by hand**”. “Made by hand” accurately described the manual methods used when the English word “manufacture” was first coined around 1567 A.D. Nowadays most modern manufacturing is accomplished by automated and computer-controlled machinery that is manually supervised.

Manufacturing is important from several points of view, such as: **technologically, economically, and historically.**

#### • Technologically

Technology can be defined as the application of science to provide society and its members with those things that are needed or desired. It provides products that help our society and its members live better. What do these products have in common is that they are all manufactured. Thus, the manufacture is the essential factor that makes technology.

#### • Economically

Manufacturing is a means by which a nation creates material wealth. In USA the manufacturing constitutes  $\approx 20\%$  of gross national product (GNP), Figure 1.1.

USA economy	
Sector	% GNP
Manufacturing	20%
Agriculture, etc.	5%
Constructions and utilities	5%
Service – retail, transportation, banking, communication, education, administration	70%

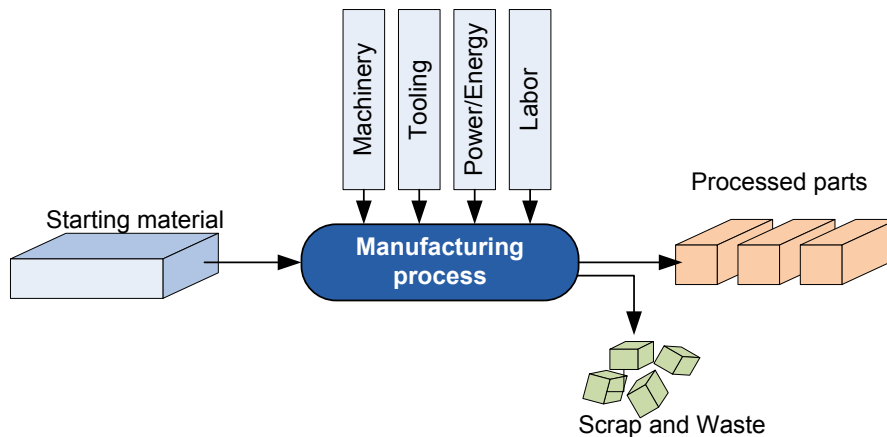
**Figure 1.1** Manufacturing as a contribution to GNP [GRO 10]

#### • Historically

Historically, the importance of manufacturing in the development of civilization is usually underestimated. Throughout history, human cultures that were better at making things were more successful. Making better tools meant better crafts and weapons:

- Better crafts allowed the people to live better
- Better weapons allowed them to conquer other cultures in times of conflict.

As a field of study, **manufacturing** can be defined in two ways, one **technologic** and the other **economic**. Technologically, **manufacturing** is the application of **physical and chemical processes** to alter the **geometry, properties, and/or appearance** of a given starting material to make **parts or products**; manufacturing also includes **assembly** of multiple parts to make products. Manufacturing is almost always carried out as a **sequence of operations**.



**Figure 1.2** Manufacturing as a technical process

The process to accomplish manufacturing involves a combination of materials, machinery, tools, power and manual labor as depicted in Figure 1.2. Each operation brings the material closer to the desired final shape.

The progress and the prosperity of human civilization are governed and judged mainly by improvement and maintenance of standard of living through availability or production of ample and quality goods and services for **men's material welfare** (MMW) in all respects covering housing, clothing, medicine, education, transport, communication and also entertainment. The successful creation of MMW depends mainly on:

- availability of **natural resources** (NR)
- use of **human effort** (HE); both **physical** and **mental**
- development and use of **power tools and machines** (TOOLS),

This can be depicted in a simple form,

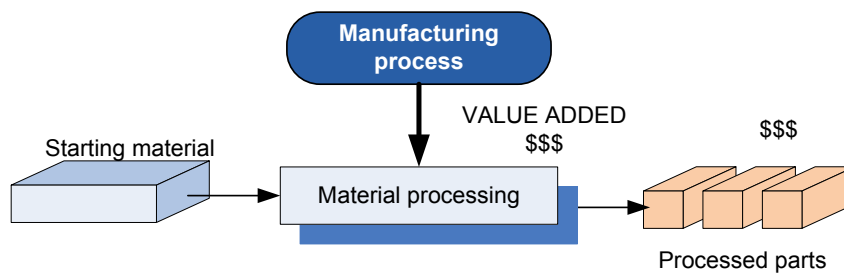
$$\text{MMW} = \text{NR} \cdot (\text{HE})^{\text{TOOLS}} \quad (1)$$

where, **NR** refers to air, water, heat and light, plants and animals and solid and liquid minerals, **TOOLS** refers to power plants, chemical plants, steel plants, machine tools etc. which magnify human capability.

This clearly indicates the important roles of the components; **NR, HE** and **TOOLS** on achieving **MMW** and progress of civilization.

**Production or manufacturing** can be simply defined as **value addition processes** by which **raw materials of low utility and value** due to its inadequate material properties and poor or irregular size, shape and finish are converted into **high utility and valued products** with definite dimensions, forms and finish imparting some functional ability. A typical example of manufacturing is schematically shown in Figure 1.3.

A lump of mild steel of irregular shape, dimensions and surface, which had almost no use and value, has been converted into a useful and valuable product like bolt by a manufacturing process which imparted suitable features, dimensional accuracy and surface finish, required for fulfilling some functional requirements.



**Figure 1.3** Manufacturing as an economic process - Value adding by manufacturing

**Manufacturing** is the transformation of materials into items of greater value by means of one or more processing and/or assembly operations as shown in Figure 1.2. Manufacturing **adds value** to the material by **changing its shape or properties**, or by **combining it with other materials** that have been similarly altered. The material has been made more valuable through the manufacturing operations perform on it. The words **manufacturing** and **production** are often used interchangeably, but production has a broader meaning than manufacturing. Production Engineering covers two domains:

**(a) Production or Manufacturing Processes**

**(b) Production Management**

**(a) Manufacturing Processes**

This refers to science and technology of manufacturing products effectively, efficiently, economically and environment-friendly through:

- Application of any existing manufacturing process and system
- Proper selection of input materials, tools, machines and environments.
- Improvement of the existing materials and processes
- Development of new materials, systems, processes and techniques.

All such manufacturing processes, systems, techniques have to be:

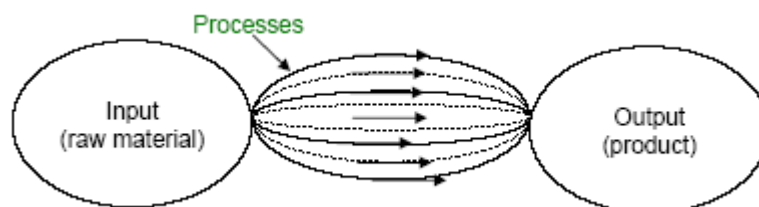
- Technologically acceptable
- Technically feasible
- Economically viable
- Eco-friendly.

Manufacturing science and technology are growing exponentially to meet the growing demands for:

- Increase and maintenance of productivity, quality and economy specially in respect of liberalization and global competitiveness
- Making micro and ultra precision components for the modern electronics, computers and medical applications
- Processing exotic materials, coming up with rapid and vast advent of science and technology like aerospace and nuclear engineering.

### (b) Production Management

This is also equally important and essential in the manufacturing world. It mainly refers to planning, coordination and control of the entire manufacturing in most profitable way with maximum satisfaction to the customers by best utilization of the available resources like man, machine, materials and money. It may be possible to manufacture a product of given material and desired configuration by several processes or routes as schematically indicated in Figure 1.4.



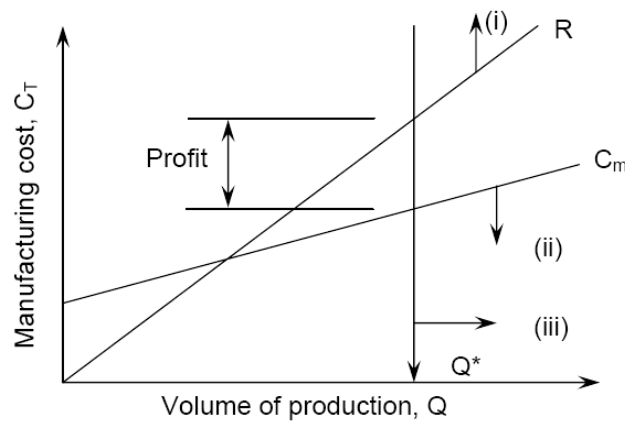
**Figure 1.4** Possibility of manufacturing in number of routes

The various process routes may be different in respect of principle, technique, quality of products and time requirement and cost of manufacture. The best one is to be selected based on some criteria. Achieving the goal in manufacturing requires fulfillment of one or more of the following objectives:

- reduction of manufacturing time
- increase of productivity
- reduction of manufacturing cost
- increase in profit or profit rate

As indicated in Figure 1.5, the most significant and ultimate objective, i.e., increase in Profit,  $P_p$ , can be attained by:

- (i) reducing the overall manufacturing cost,  $C_m$
- (ii) increase in revenue,  $R$  by increasing quality and reliability of the products
- (iii) enhancement of saleable production



**Figure 1.5** Strategies of increasing profit [GRO 07]

Production management integrates and accomplishes all such essential activities leading to maximum benefits by best utilization of the resources and strategies.

## 1.2 Manufacturing industries and products

Manufacturing is an important activity. The **type of manufacturing** done by a company depends on the **kinds of products** it makes. It is performed as a commercial activity by companies that sell their products to the customers.

Industry consists of enterprises and organizations that produce or supply goods and services. Industries can be classified as:

1. **Primary industries** -those that cultivate and exploit natural resources, e.g., agriculture, mining
2. **Secondary industries** -take the outputs of primary industries and convert them into consumer and capital goods -manufacturing is the principal activity
3. **Tertiary industries** -service sector of the economy

Most secondary industries are companies that do manufacturing; others are construction and power generation. However, manufacturing includes several industries whose production technologies are not covered in this course; e.g., apparel, beverages, chemicals, and food processing. For our purposes, manufacturing means production of *industrial products*, which ranges from nuts and bolts to woods parts, as well as plastic and ceramic products.

Final products (**manufactured products**) made by the industries can be divided into two major classes: **consumer goods** and **capital goods**. **Consumer goods** are products purchased directly by consumers (cars, TV set, balls, etc.). **Capital goods** are those products purchased by other companies to produce goods or supply services (aircraft, railroad equipment, machine tools, construction equipment, etc.).

In addition to final products, other manufactured items include **materials, components** and **supplies** used by the companies that make the final products. Examples of such items include sheet steel, bar stock, machined parts, plastic moldings and extrusions, cutting tools, dies, and lubricants. Thus, the manufacturing industries consist of a complex infrastructure with various categories and layers of intermediate suppliers with whom the final customer never deals.

### 1.3 Production quantity

The quantity of products  $Q$  made by a factory has an important influence on the way its people, facilities, and procedures are organized. Annual production quantities can be classified into three ranges (Table 1.1):

**Table 1.1**

<b>Production range</b>	<b>Annual quantity, <math>Q</math></b>
Low production	1 to 100 units
Medium production	100 to 10,000 units
High production	10,000 to millions of units

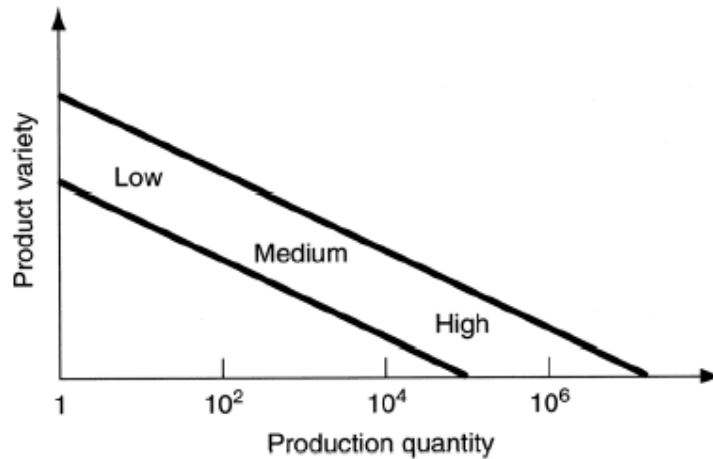
The boundaries between these three ranges are somewhat arbitrary. Depending on the kinds of products, these boundaries may shift by an order of magnitude or so. Products quantity refers to the number of units produced annually of a particular product type. Some plants produce a variety of different product types, each type being made in low or medium quantity. Other plants specialize in high products of only one product type. It is instructive to identify product variety as a parameter distinct from product quantity.

### 1.4 Product variety

Product variety,  $P$ , refers to different product types produced in the plant. Product variety is distinct from production quantity. Different products have different shapes and sizes; they are intended for different markets; some have more parts than others.

The number of different product types made each year in a factory can be counted. When the number of product types made in the factory is high, this indicates high product variety.

Between product variety  $P$  and production quantity  $Q$  in factory operations exists an inverse correlation as depicted in Figure 1.6. If a factory's  $P$  is high, then  $Q$  is likely to be low; and if  $Q$  is high, then  $P$  is likely to be low.



**Figure 1.6** Relationship between Product variety and Production quantity [AWI www]

Although  $P$  is a quantitative parameter, it is much less exact than because details on how much the designs differ is not captured simply by the number of different designs.

- **Soft product variety** - small differences between products, e.g., differences between car models made on the same production line, in which there is a high proportion of common parts among models.

- **Hard product variety** - products differ substantially, and there are few, if any, common parts, e.g., the difference between a small car and a large truck.

### 1.5 Manufacturing capability

A manufacturing plant consists of a set of *processes* and *systems* (and people, of course) designed to transform a certain limited range of *materials* into products of increased value. The three building blocks - **materials, processes, and systems**- are the subject of modern manufacturing. Manufacturing capability includes:

- Technological processing capability
- Physical product limitations
- Production capacity.
- **Technological processing capability** could be described as the available set of manufacturing processes in the plant (or company). Certain manufacturing processes are suited to certain materials. That means by specializing in certain processes, the plant is also specializing in certain material types. Technological Processing Capability includes not only the physical processes, but also the expertise of the plant personnel.
- **Physical Product Limitations.** A second aspect of manufacturing capability is imposed by the physical product. A plant with a certain set of processes is limited in terms of size and weight limitations on the parts or products that can be made in the plant. Product size and weight affect:



- Production equipment
- Material handling equipment

The production and material handling equipment, and plant size must be planned for products that lie within a certain size and weight range.

▪ **Production Capacity.** A third limitation on a plant’s manufacturing capability is the production quantity that can be produced, in a given time period (e.g., month or year). Commonly called **plant capacity**, or **production capacity**, it is defined as the maximum rate of production that a plant can achieve under assumed operating conditions.

The operating conditions refer to number of shifts per week, hours per shift, direct labor manning levels in the plant, and so on. These factors represent **inputs** to the manufacturing plant. Plant capacity is usually measured in terms of **output units** such as tons of steel or number of parts/pieces produced by the plant. In these cases the output are **homogeneous**. In case where these outputs are **not homogeneous**, other factors may be more appropriate measures, such as available labor hours of productive capacity in a machine shop that produces a variety of parts.

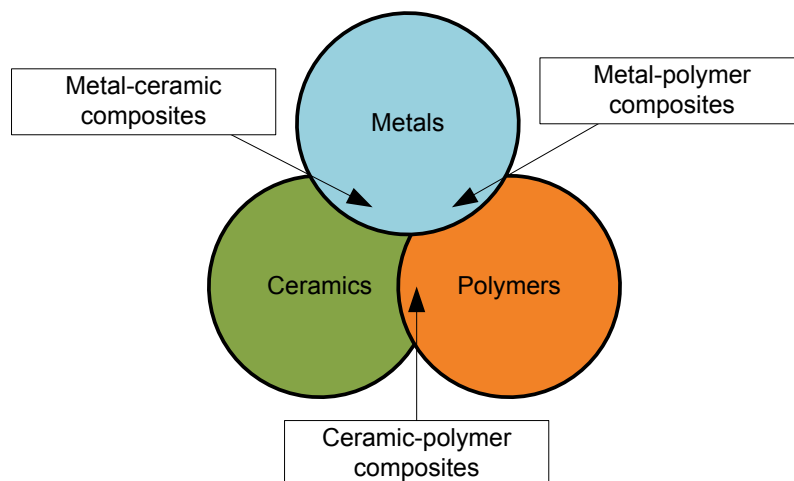
## 1.6 Materials in manufacturing

Most engineering materials can be classified into one of three basic categories (Figure 1.7):

1. **Metals**
2. **Ceramics**
3. **Polymers**

Their chemistries are different, their mechanical and physical properties are dissimilar, and these differences affect the manufacturing processes that can be used to produce products from them. In addition to the three basic categories, there are also:

4. **Composites** –non homogeneous mixtures of the other three basic types rather than a unique.



**Figures 1.7** Diagram of three basic materials types and composites [WES 01]

**1. Metals** used in manufacturing are usually composed of two or more elements, at least one of which is metallic. There are **two basic groups**:

**1.1. Ferrous metals** are based on iron; the group includes steel and cast iron. These metals constitute the most important group commercially and comprise  $\approx 75\%$  of metal tonnage in the world. Pure iron has a limited use, but when alloyed with carbon, iron has more uses and greater commercial value than any other metal. Alloys of iron and carbon form **steel** and **cast iron**.

**Steel** can be defined as an iron-carbon alloy containing **0.02 to 2.11% C**. It is the most important category within the ferrous metal group. Its composition often includes other alloying elements as well, such as manganese, chromium, nickel, and molybdenum, to enhance the properties of metal.

**Cast iron** is an alloy with **2% to 4% C** used in casting. Other elements are often added to obtain desirable properties in the cast part. Cast iron is available in several different forms, of which gray cast iron is the most economic.

**1.2. Nonferrous metals** include all other metallic elements and their alloys: aluminum, copper, gold, magnesium, nickel, silver, titanium, etc. In almost all cases, the alloys are more important commercially than the pure metals.

**2. Ceramics** are compounds containing metallic (or semi-metallic) and nonmetallic elements. Typical nonmetallic elements are oxygen, nitrogen, and carbon. Traditional ceramics include: **clay** (consisting of fine particles of hydrous aluminum silicates, and other materials), **silica** (the basis for nearly all glass products), **alumina** and **silicon carbide**. New ceramics include **carbides** (metal carbides) such as tungsten carbide and titanium carbide, which are widely used as cutting tools materials and **nitrides** – metal and semimetal nitrides like titanium nitride and boron nitride, used as cutting tools and grinding abrasives.

For processing purposes, ceramics divide into:

**2.1. Crystalline ceramics** – includes:

- Traditional ceramics, such as clay (hydrous aluminum silicates)
- Modern ceramics, such as alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

**2.2. Glasses** – mostly based on silica ( $\text{SiO}_2$ )

**3. Polymers** are compounds formed of repeating structural units called **mers**, whose atoms share electrons to form very large molecules. There are three categories:

**3.1. Thermoplastic polymers** - can be subjected to multiple heating and cooling cycles without altering their molecular structure (polyethylene, polystyrene, polyvinylchloride, and nylon).

**3.2. Thermosetting polymers.** Their molecules chemically transform (cure) into a rigid structure upon cooling from a heated plastic condition (phenolics, amino resins, epoxies).

**3.3. Elastomers** - exhibit significant elastic behavior. They include natural rubber, neoprene, silicone, and polyurethane.

**4. Composites** are materials consisting of two or more phases that are processed separately and then bonded together to achieve properties superior to its constituents.

A **phase** is a homogeneous mass of material, such as grains of identical unit cell structure in a solid metal. Usual structure consists of particles or fibers of one phase mixed in a second phase. The synthesized composite type includes glass fibers in a polymer matrix, such as fiber-reinforced plastic; polymer fibers of one type in a matrix of a second polymer such as an epoxy-Kevlar composite; and ceramic in a metal matrix such as a tungsten carbide in a cobalt binder to form a cemented carbide tools.

**Properties** depend on components, physical shapes of components, and the way they are combined to form the final material. Some composites combine high strength with light weight and are suited to application such as aircraft components, car bodies, and tennis rackets. Other composites are strong, hard and capable of maintaining these properties at elevated temperatures (cemented carbide cutting tools).

# CHAPTER 2.

## Broad Classification of Engineering Manufacturing Processes

It is extremely difficult to tell the exact number of various manufacturing processes existing and are being practiced presently because a spectacularly large number of processes have been developed till now. Their number is still increasing exponentially with the growing demands and rapid progress in science and technology. In the practice there are two types of manufacturing processes (Figure 2.1):

- 1. Processing operations** transform a work material from one state of completion to a more advanced state. These operations add value by **changing the geometry, properties, or appearance** of the starting material. In general processing operations are performed on discrete work parts, but some processing operations are also applicable to assembled items.
- 2. Assembly operations** join two or more components in order to create a new entity called assembly or subassembly, or some other terms that refers to the joining process.

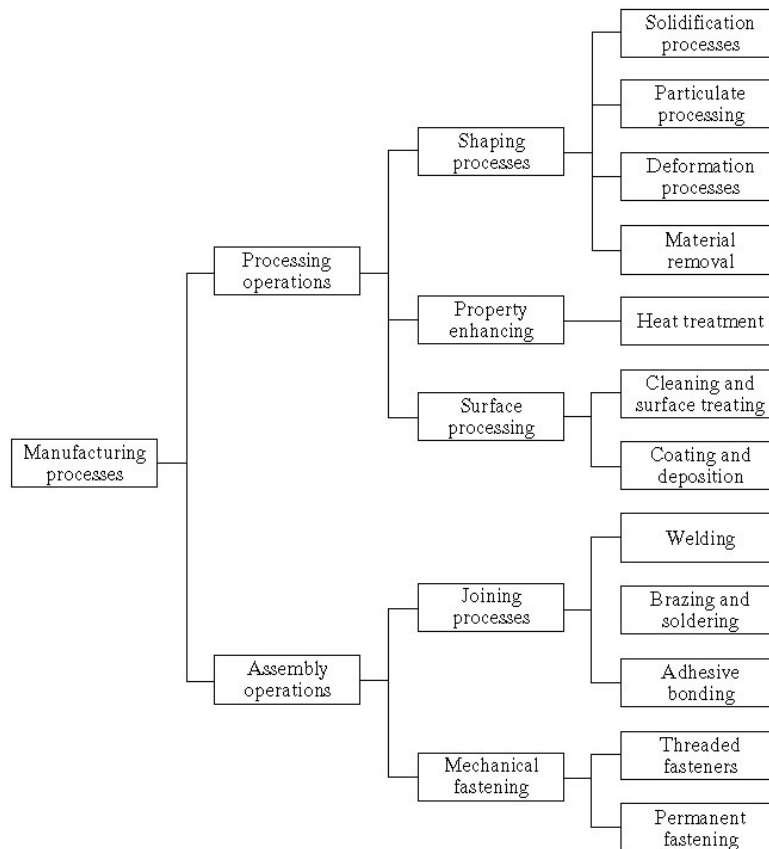


Figure 2.1 Classification of processes [GRO 10]

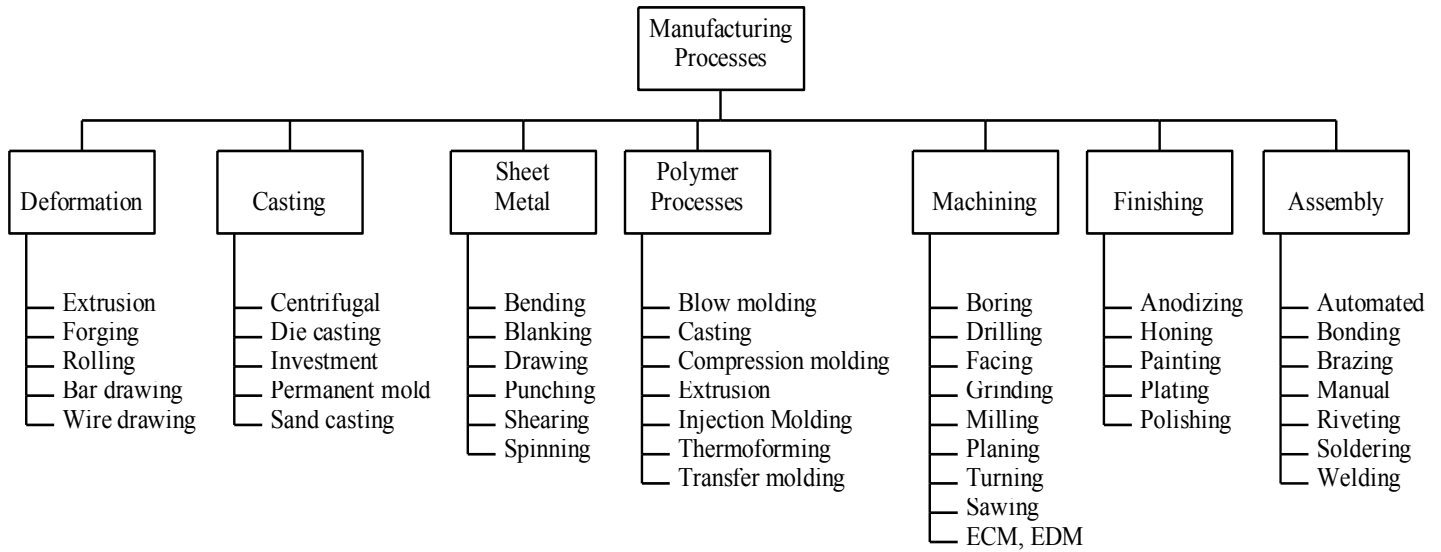


Figure 2.2 Classification of manufacturing processes [GRO 10]

## 2.1 Processing operations

There alter a work part's **shape**, **physical properties**, or **appearance** in order to add value to the material. There are three main categories of processing operations:

▪ **Shaping Processes** alter the geometry of the starting work material. Shaping operations can be divided into **four categories**:

**a) Solidification processes** - starting material is a heated liquid or semi-fluid that solidifies to form part geometry. Starting material is heated sufficiently to transform it into a liquid or highly plastic state.

Examples: casting for metals, molding for plastics

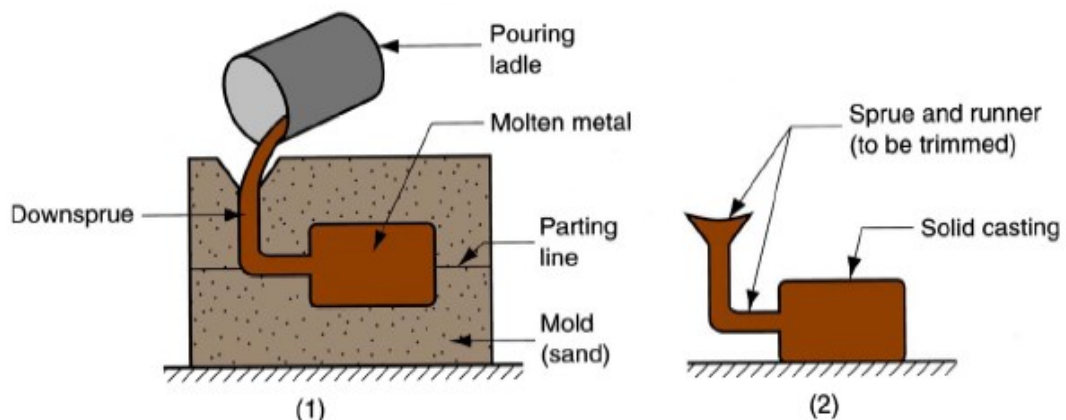


Figure 2.3 Solidification process [GRO 10]

**b) Particulate processing** - starting material is a powder of metals or ceramics, and the powders are formed into desired geometry and then sintered to harden. Usually involves pressing and sintering, in which powders are first squeezed in a die cavity and then heated to bond the individual particles.

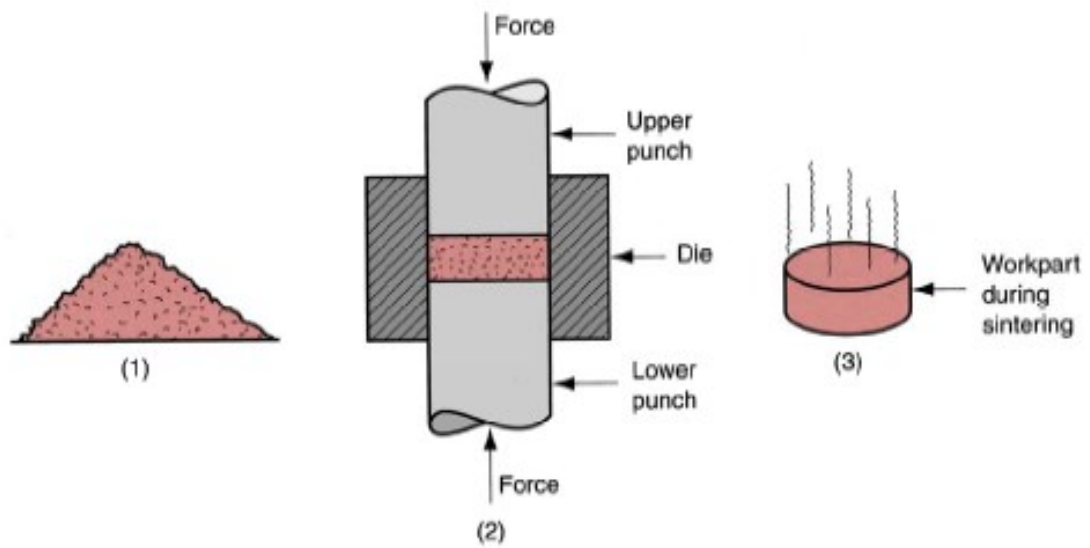


Figure 2.4 Particulate processing [GRO 10]

**c) Deformation processes** - starting material is a ductile solid (commonly metal) that is deformed. Starting work part is shaped by application of forces that exceed the yield strength of the material. Examples: forging (a), extrusion (b)

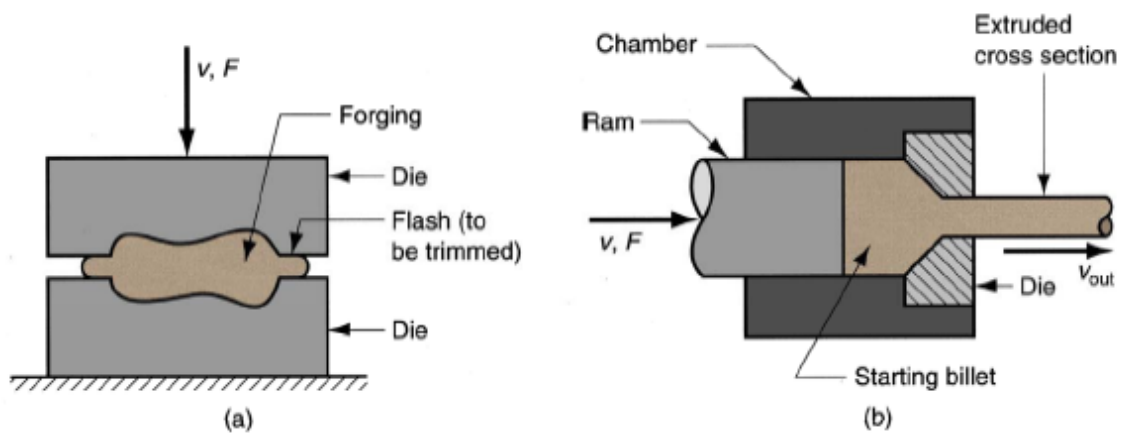


Figure 2.5 Deformation processes [WES 01]

**d) Material removal processes** - starting material is a *solid* (ductile or brittle), from which material is removed so resulting part has desired geometry. Excess material is removed from the starting work piece so what remains is the desired geometry. Examples: machining such as turning, drilling, and milling; also grinding and nontraditional processes.

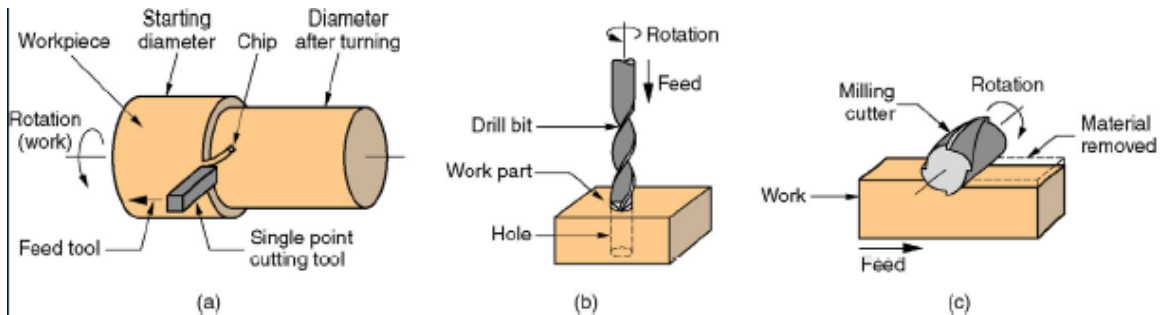


Figure 2.6 Removal processes [GRO 07]

### Waste in shaping processes

It is desirable to minimize waste and scrap in part shaping. Material removal processes tend to be wasteful in the unit operation, simply by the way they work. Casting and molding usually waste little material. Terminology:

- **Net shape processes** - when most of the starting material is used and no subsequent machining is required to achieve final part geometry
- **Near net shape processes** - when minimum amount of machining is required

- **Property-enhancing operations** improve physical properties of the material without changing its shape.

They are performed to improve mechanical or physical properties of the work material. Part shape is not altered, except unintentionally. Examples: heat treatment of metals and glasses, sintering of powdered metals and ceramics.

- **Surface processing operations** are performed to clean, treat, coat, or deposit material onto the exterior surface of the work piece. Several surface processing operations used to fabricate integrated circuits.

- a) **Cleaning** processes are chemical and mechanical processes to remove dirt, oil, and other contaminants from the surface.
- b) **Surface treatments** is mechanical working such as sand blasting, and physical processes like diffusion.
- c) **Coating and thin film deposition** -coating exterior surface of the work part.

## 2.2 Assembly operations

The second basic type of manufacturing operation is **assembly**, in which two or more separate parts are joined to form a new entity. Components of news entity are connected either **permanently** or **semi permanently**. **Permanent joining** processes include **welding, brazing, soldering, and adhesive bonding**. They form a joint between components that can not be easily disconnected.

**Mechanical assembly** methods are available to fasten two (or more) parts together in a joint that can be conveniently disassembled. The use of screws, bolts, and other threaded fasteners are important traditional methods in this category. Other mechanical techniques that form a more permanent connection include: **rivets, press fitting, and expansion fits**. Special joining and fastening methods are used in the assembly of electronic products. Some of the methods are identical to or are adaptations of the preceding processes (e.g. soldering). Types of assembly operations are:

- **Joining processes** – create a permanent joint. Examples: welding, brazing, soldering, and adhesive bonding
- **Mechanical assembly** – fastening by mechanical methods. Examples: use of screws, bolts, nuts, other threaded fasteners; press fitting, expansion fits.



# CHAPTER 3.

## Production Machines and Tooling

### 3.1 Machinery and Tooling

**Manufacturing operations** are accomplished using **machinery** and **tooling** (people). Beginning with the Industrial Revolution the metal cutting machines started to be developed and widely used. These were called **machine tools** – power driven machines used to operate cutting tools previously operated by hand. Modern machine tools can be described by the same basic definition, except that the power is electrical rather than water or steam, and the level of precision and automation is greater today.

Other production machines are **presses** for stamping operations; **forge hammers** for forging, **rolling mills** for sheet metal, **welding machines** for welding, and **insertion machines** for inserting electronic components into printed circuits boards.

Production equipment can be **general purpose** or **special purpose**. **General purpose equipment** is more flexible and adaptable to a variety of jobs. It is commercially available for any manufacturing company to invest in. **Special purpose equipment** is usually designed to produce a specific part or product in very large quantity. The economics of mass production justify large investments in special purpose machinery to achieve high efficiencies and short cycle times. Another reason is because the process is unique and commercial equipment is not available. Some companies with unique processing requirements develop their own special purpose equipment.

Production machinery usually requires **tooling** that customizes the equipment for the particular part or product. In many cases tooling must be designed specially for the part or product configuration. For each work part type, the tooling is fastened to the machine and the production run is made. When the run is completed, the tooling is changed for the next work part type. When used with special purpose machines, the tooling is often designed as an integral part of the machine. The type of tooling depends on the type of manufacturing process.

### 3.2 Production system

**Production system** consists of the people, equipment, and procedures designed for the combination of materials and processes that constitute a firm's manufacturing operations. A manufacturing firm must have systems to efficiently accomplish its type of production. There are two categories of production systems: **production facilities**, **manufacturing support systems**. Both categories include people (people make these systems work)

**Production facilities** of the factory consist of production equipment, and material handling equipment. The production facilities "touch" the product and also include the way the equipment is arranged in the factory -the **plant layout**. Equipment is usually organized into logical groupings, called **manufacturing systems**. Examples: automated production line, machine cell consisting of an industrial robot and two machine tools.

Production facilities are correlated with **products quantities**. A company designs its manufacturing systems and organizes its factories to serve the particular mission of each plant. Certain types of production facilities are recognized as the most appropriate for a given type of manufacturing (combination of product variety and production quantity). Different facilities are required for each of the three quantity ranges.

#### ▪ **Low quantity production**

- *Job shop* is the term used for this production facility.
- Low quantity range is 1 to 100 units/year.
- A job shop makes low quantities of specialized and customized products.
- Products are typically complex, e.g., space capsules, prototype aircraft, special machinery.
- Equipment in a job shop is general purpose
- Labor force is highly skilled
- Designed for maximum flexibility.

**A job shop** must be designed for **maximum flexibility** in order to deal with wide product variations encountered (hard product variety). If the product is large and heavy, and therefore difficult to move, it typically remains in a single location during its fabrication or assembly. Workers and processing equipment are bought to the product, rather than moving the product to the equipment. This type of layout is referred to as **a fixed-position layout**, shown in Figure 3.1 (a). In ideal situation, the product remains in a single location during its entire production.

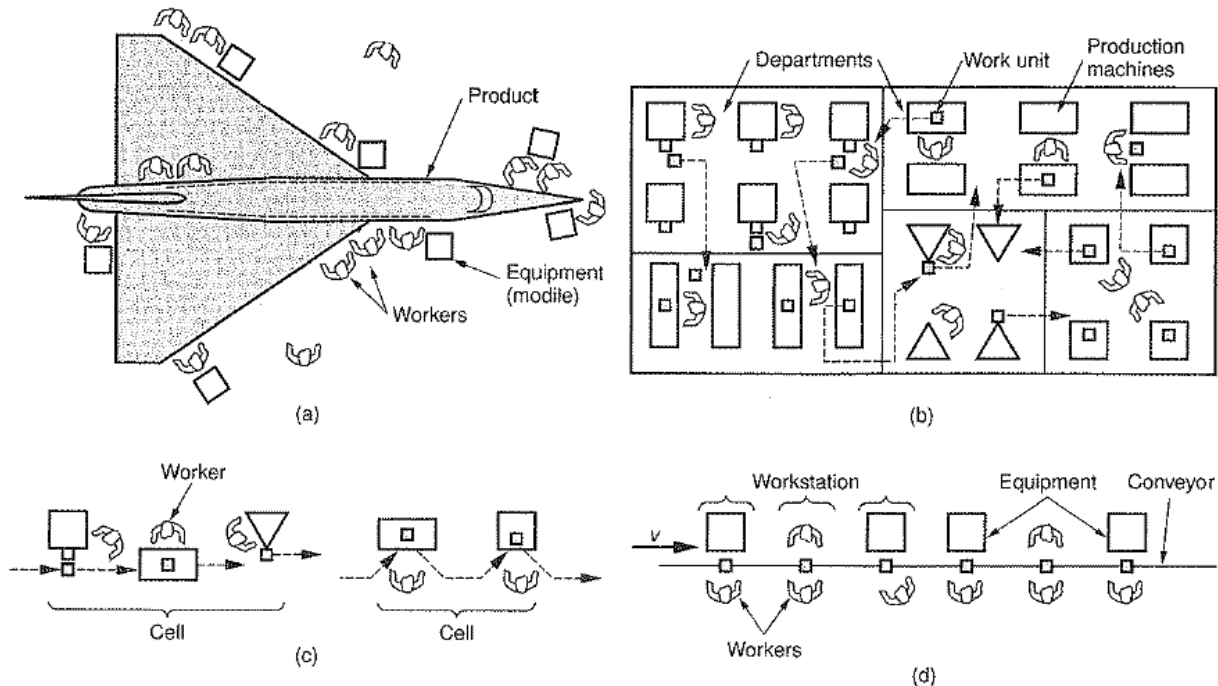
Examples: ships, aircraft, locomotives, and heavy machinery. In actual practice, these items are usually built in large modules at single locations, and then completed modules are brought together for final assembly using large-capacity cranes.

Individual components of these large products are often made in factories in which the equipment is arranged according to function or type. This arrangement is called **a process layout**. The lathes are in one department, the milling machines are in another department and so on, as in Figure 3.1 (b). Different parts, each requiring a different operation sequence, are routed through the departments in the particular order needed for their processing, usually in batches.

The process layout is noted for its flexibility; it can accommodate a great variety of operation sequences for different part configurations. Its disadvantage is that the machinery and methods to produce a part are not designed for high efficiency.

▪ **Medium quantity production**

- Medium quantity range is 100 to 10,000 units annually
- Two different types of facility, depending on product variety:
  - Hard product variety: **batch production**
  - Soft product variety: **cellular manufacturing**



**Figure 3.1** Various types of plant layout: (a) fixed-position layout, (b) process layout, (c) cellular layout, and (d) products layout [GRO 07]

When product variety is hard, the usual approach is **batch production**, in which a batch of one product is made, after which the manufacturing is changed over to produce a batch of the next product, and so on. The changeover between production runs takes time (time to change tooling and setup the machinery). This setup time is lost production time, and this is a disadvantage of batch production. Batch production is commonly used for make-to-stock situations, in which items are manufactured to replenish inventory that has been gradually depleted by demand.

An alternative approach to medium-large production is possible if product variety is soft. In this case, extensive changeover between one product style and the next may not be necessary. It is often possible to configure the manufacturing system so that groups of similar products can be made on the same equipment without significant lost time due to setup. The processing or assembly of different parts or products is accomplished in cells consisting of several workstations or machines. The term **cellular manufacturing** is often associated with this type of production. Each cell is designed to produce a limited variety of part configuration.

The cell specializes in the production of a given set of similar products, according to the principles of **group technology**. The layout is called a **cellular layout (group technology layout)**, depicted in Figure 3.1(c).

#### ▪ **High production**

- High quantity range is 10,000 to millions of units per year
- Referred to as **mass production**
- High demand for product
- Manufacturing system dedicated to the production of that product
- Two categories of mass production:

#### **1. Quantity production**

- Mass production of single parts on single machine or small numbers of machines
- Typically involves standard machines equipped with special tooling
- Equipment is dedicated full-time to the production of one part type
- Typical layouts used in quantity production are **product layout** and **cellular layout**.

In **product layout**, the workstations are arranged into one long line, as in Figure 3.1 (d), or into a series of connected line segments. The work is usually moved between stations by mechanized conveyors. At each station, a small amount of the total work is completed on each unit of product.

#### **2. Flow line production**

- Multiple machines or workstations arranged in sequence, e.g., production lines
- Product is complex and requires multiple processing and/or assembly operations
- Work units are physically moved through the sequence to complete the product
- Workstations and equipment are designed specifically for the product to maximize efficiency

### **3.3 Manufacturing support systems**

A company must organize itself **to design** the processes and equipment, **plan** and **control** the production orders, and **satisfy** product quality requirements. These functions are accomplished by **manufacturing support systems** - people and procedures by which a company manages its production operations. **Typical departments** (Figure 3.2) are:

#### **1. Manufacturing engineering**

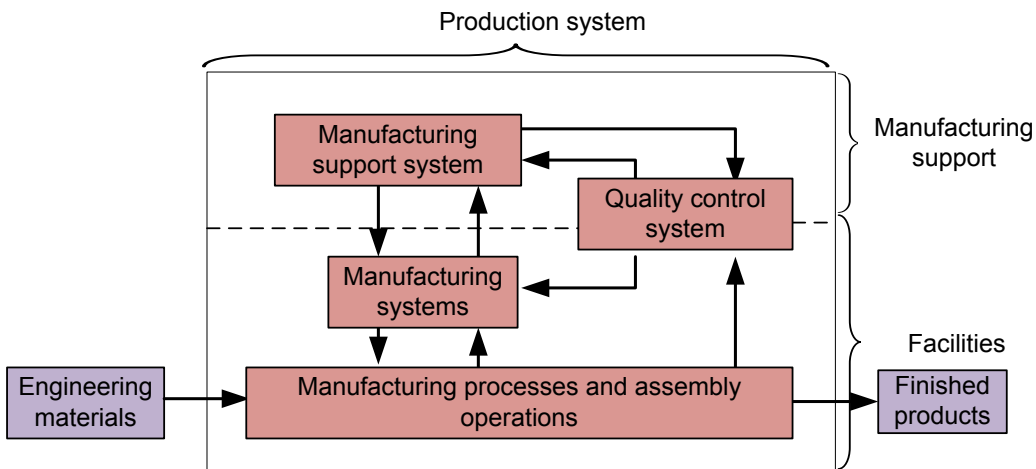
The manufacturing engineering department is responsible for planning the manufacturing processes - deciding what process should be used to make the parts and assemble the products. This department is also involved in designing and ordering the machine tools and other equipment used by operating departments to accomplish processing and assembly.

## 2. Production planning and control

This department is responsible for solving the logistics problems in manufacturing – ordering materials and purchased parts, scheduling production, and making sure that the operating departments have the necessary capacity to meet the production schedules.

## 3. Quality control

Producing high-quality products should be a priority for any manufacturing company in today's competitive environment. It means designing and building products that conform to specification and satisfy or exceed the customer expectations. Quality control department is responsible for much of this effort.



**Figure 3.2** Overview of production system and major topics in fundamentals of manufacturing

# CHAPTER 4.

## Machining

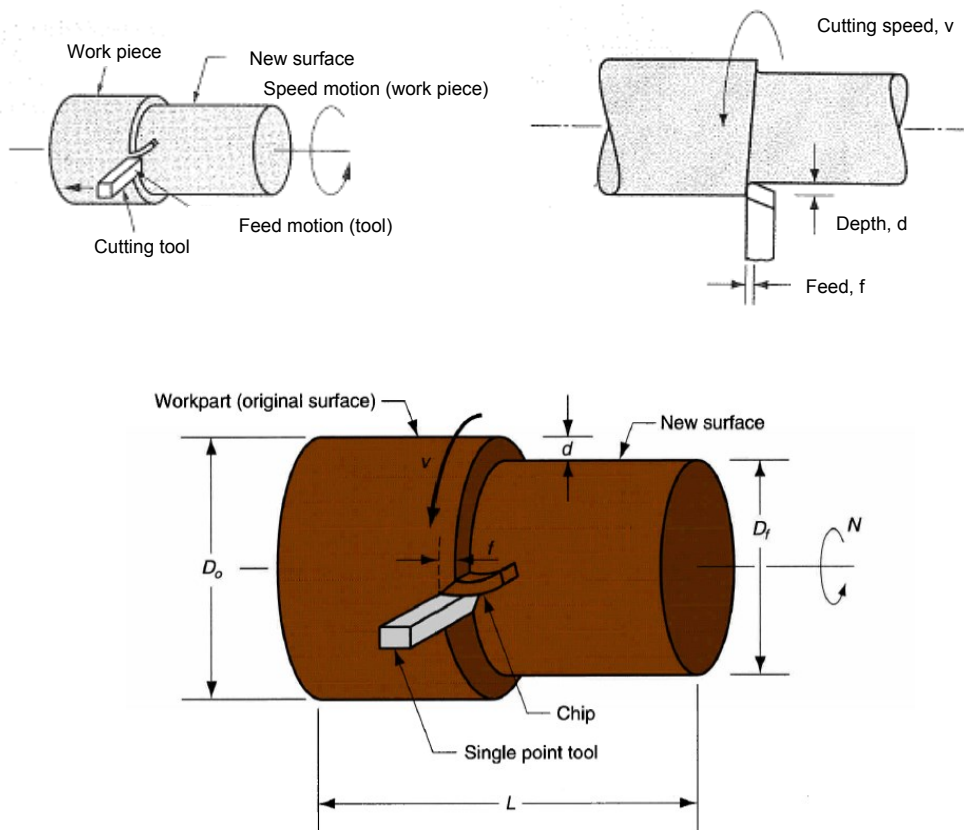
**Machining** is the most versatile and accurate of all manufacturing processes in its capability to produce a **diversity of part geometries** and **geometric features** (e.g. screw threads, gear teeth, flat surfaces, etc). Casting can also produce a variety of shapes, but it lacks the **precision and accuracy of machining**.

### 4.1 Machining – Purpose, Principle and Definition

#### ▪ Purpose of Machining

Most of the engineering components such as gears, bearings, clutches, tools, screws and nuts etc. need **dimensional and form accuracy** and **good surface finish** for serving their purposes.

Preforming like casting, forging etc. generally cannot provide the desired accuracy and finish. For that such preformed parts, called blanks, need semi-finishing and finishing and it is done by **machining and grinding**. Grinding is also basically a machining process.



**Figure 4.1** Principle of machining (turning) [GRO 10]

Machining to high accuracy and finish essentially enables a product:

- fulfill its functional requirements
- improve its performance
- prolong its service

#### ▪ Principle of Machining

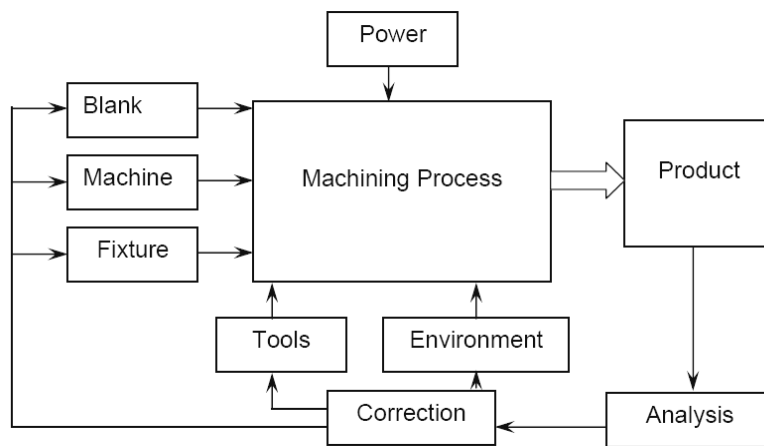
The basic principle of machining is typically illustrated in Figure 3.1. A metal rod of irregular shape, size and surface is converted into a finished rod of desired dimension and surface by machining by proper relative motions of the tool-work pair.

#### ▪ Definition of Machining

Machining is an essential process of finishing by which jobs are produced to the desired dimensions and surface finish by gradually removing the excess material from the preformed blank in the form of chips with the help of cutting tool(s) moved past the work surface(s).

## 4.2 Machining requirements

The essential basic requirements for machining work are schematically illustrated in Figure 4.



**Figure 4.2** Requirements for machining

The blank and the cutting tool are properly mounted (in fixtures) and moved in a powerful device called machine tool enabling gradual removal of layer of material from the work surface resulting in its desired dimensions and surface finish. Additionally some environment called cutting fluid is generally used to ease machining by cooling and lubrication.

**A machine tool** may be described as a non-portable power operated and reasonably valued device or system of devices in which energy is expended to produce jobs of desired size, shape and surface finish by removing excess material from the preformed blanks in the form of chips with the help of cutting tools moved past the work surface(s).

Machine tools basically produce geometrical surfaces like flat, cylindrical or any contour on the preformed blanks by machining work with the help of cutting tools. The **basic physical functions** of a machine tool in machining are:

- firmly holding the blank and the tool
- transmit motions to the tool and the blank
- provide power to the tool-work pair for the machining action
- control of the machining parameters, i.e., speed, feed and depth of cut.

### 4.3 Basic functional principles of machine tool operations

Machine tools produce desired geometrical surfaces on solid bodies (preformed blanks) and for that they are basically comprised of:

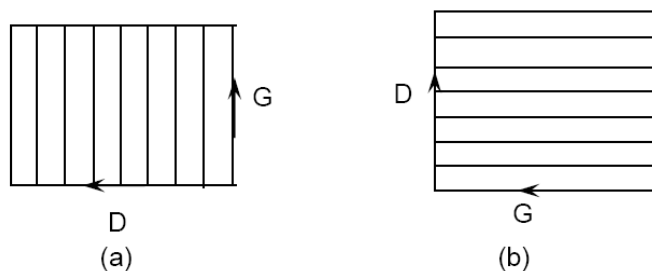
- Devices for firmly holding the tool and work
- Drives for providing power and motions to the tool and work
- Kinematic system to transmit motion and power from the sources to the tool-work
- Automation and control systems
- Structural body to support and accommodate those systems with sufficient strength and rigidity.

For material removal by machining, the work and the tool need relative movements and those motions and required power are derived from the power source(s) and transmitted through the kinematic system(s) comprised of a number and type of mechanisms.

#### 4.3.1 Concept of Generatrix and Directrix

- **Generation of flat surface**

The principle is shown in Figure 4.3 where on a flat plain a straight line called **Generatrix (G)** is traversed in a perpendicular direction called **Directrix (D)**, resulting a flat surface.



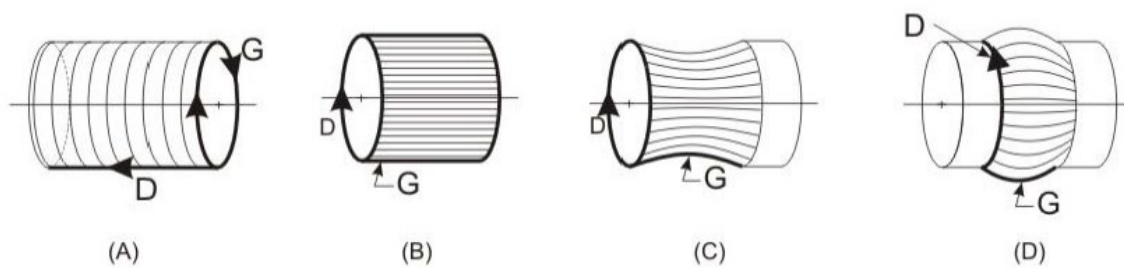
**Figure 4.3** Generation of flat surfaces by Generatrix and Directrix [GRO 10]



### • Generation of cylindrical surfaces

The principles of production of various **cylindrical surfaces (of revolution)** are shown in Figure 4.4, where,

- **A long straight cylindrical surface** is obtained by a **circle (G)** being traversed in the **direction (D)** parallel to the axis as shown in Figure 4.4 (a)
- **A cylindrical surface of short length** is obtained by traversing a **straight line (G)** along a **circular path (D)** as indicated in Figure 4.4 (b)
- Form **cylindrical surfaces** by rotating a **curved line (G)** in a **circular path (D)** as indicated in Figure 4.4 (c) and (d).



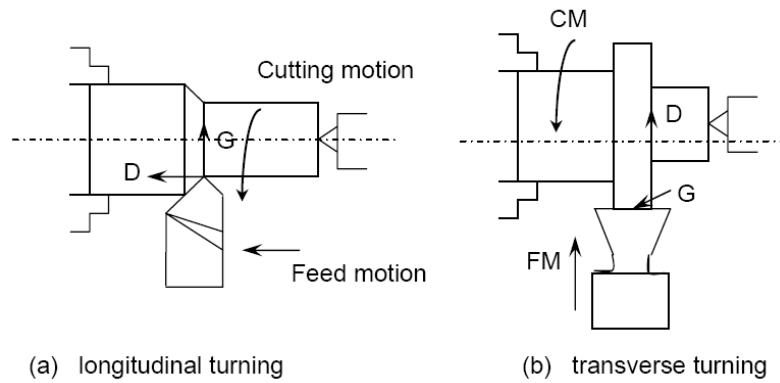
**Figure 4.4** Generation of cylindrical surfaces (of revolution) [GRO 10]

### 4.3.2 Tool – work piece motions

The lines representing the **Generatrix** and **Directrix** are usually produced by the locus of a point moving in two different directions and are actually obtained by the motions of the tool-tip (point) relative to the work surface. Hence, for machining flat or curved surfaces the machine tools need relative tool work motions, which are categorized in the following two groups:

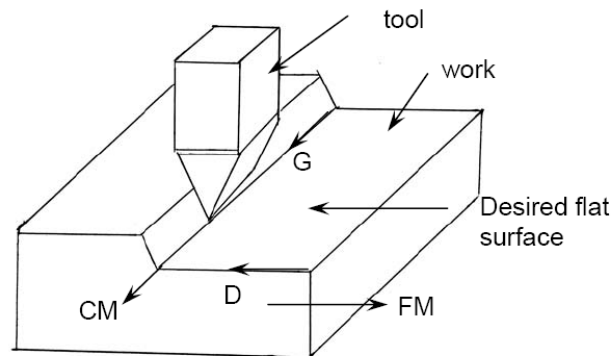
- **Formative motions namely**
  - Cutting motion (CM)
  - Feed motion (FM).
- **Auxiliary motions such as**
  - Indexing motion
  - Additional feed motion
  - Relieving motion.

The **Generatrix** and **Directrix**, tool and the work and their motions generally remain interconnected and in different way for different machining work. Such interconnections are typically shown in Figure 4.5 for straight turning and in Figure 4.6 for shaping.



**Figure 4.5** Principle of turning (cylindrical surface) [GRO 10]

The connections in case of **straight longitudinal turning** shown in Figure 4.5(a), (b) are: Generatrix (**G**) – Cutting motion (**CM**) – Work (**W**) Directrix (**D**) – Feed motion (**FM**) – Tool (**T**)



**Figure 4.6** Principle of producing flat surface in shaping machine [GRO 10]

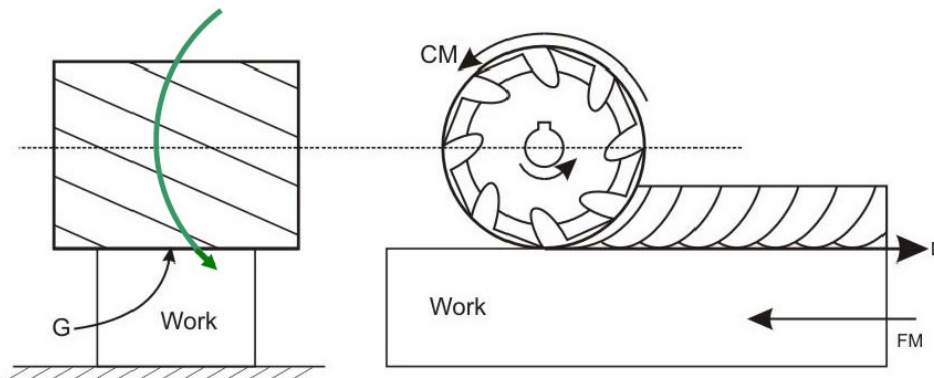
In case of making flat surface in a shaping machine as shown in Figure 4.6 the connections are: **G – CM – T, D – FM – W** which indicates that in shaping flat surfaces the Generatrix is provided by the cutting motion imparted to the cutting tool and the Directrix is provided by the feed motion of the work.

Flat surfaces are also produced by planing machines, mainly for large jobs, where the cutting motion is imparted to the work and feed motion to the tool and the connections will be: **G – CM – Work, D – FM – Tool**.

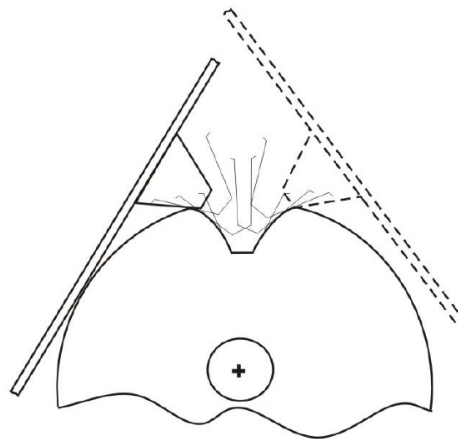
The **Generatrix** and **Directrix** can be obtained in **four ways**:

- 1) **Tracing (Tr)** – where the continuous line is attained as a trace of path of a moving point as shown in Figure 4.5 and Figure 4.6.
- 2) **Forming (F)** – where the Generatrix is simply the profile of the cutting edge as indicated in Figure 4.4 (c) and (d).
- 3) **Tangent Tracing (TTr)** – where the Directrix is taken as the tangent to the series of paths traced by the cutting edges as indicated in Figure 4.7.

4) **Generation (G):** Here the G or D is obtained as an envelope being tangent to the instantaneous positions of a line or surface which is rolling on another surface. Gear teeth generation by hobbing or gear shaping is the example as can be seen in Figure 4.8.



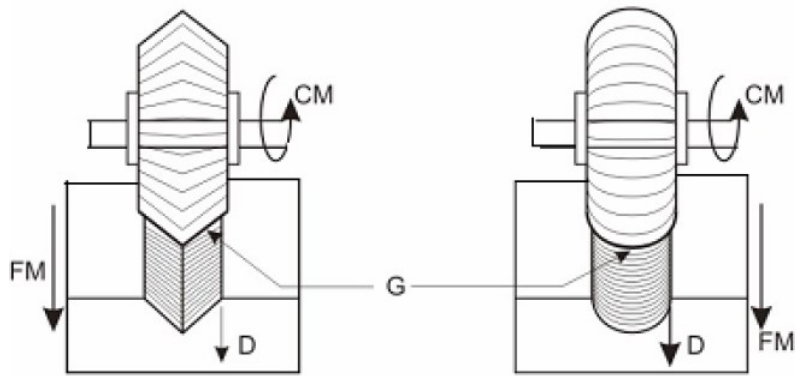
**Figure 4.7** Directrix formed by tangent tracing in plain milling [GRO 07]



**Figure 4.8** Generatrix in gear teeth cutting by generation [GRO 07]

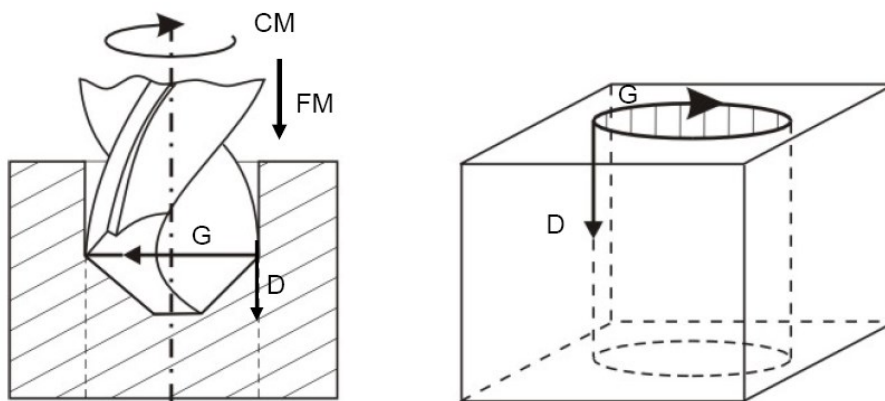
Figure 4.7 typically shows the tool-work motions and the corresponding Generatrix (G) and Directrix (D) while producing flat surface by a plain or slab milling cutter in a conventional horizontal arbour type milling machine. The G and D are connected here with the tool work motions as: **G – x – T – F, D – FM – W – TTr, CM – T.**

Here G and D are independent of the cutting motion. The G is the contact line between the milling cutter and the flat work surface. The present cutter being of roller shape, G has been a straight line and the surface produced has also been flat. Form milling cutters will produce similar formed surfaces as shown in Fig. 4.9 where the G is the tool-form.



**Figure 4.9** Tool-work motions and G& D in form milling [GRO 10]

For making holes in drilling machines both the cutting motion and the feed motion are imparted to the cutting tool i.e., the drill bit whereas the work piece remains stationary. This is shown in Figure 4.10. The G and D are linked with the tool-work in the way: **G – CM - T-Tr, D – FM – W – Tr**. In respect to tool-work and G and D, vertical boring and drilling are the same. In respect to tool-work and G and D, vertical boring and drilling are the same.



**Figure 4.10** Tool-work motion and G&D in drilling [GRO 10]

#### 4.3.3 Machine tool drives

For the desired **tool-work motions** with power, machine tools are **driven** by **electric motors** and use of some mechanisms like **belt-pulley, gears** etc. In some machine tools, the tool-work motions are provided by **hydraulic drive** also. Machine tools essentially need wide ranges of cutting speed and feed to enable:

- Machining different jobs
- Using different cutting tools (material, geometry, size)
- Various machining operations like high speed turning to low speed thread cutting in lathes
- Degree of surface finish desired.

Machine tools drives may be:

- **Stepped drive**
- **Stepless drive**

**Stepped drives** are very common in conventional machine tools where a discrete number of speeds and feeds are available and preferably in G.P. (Geometric Progression) series. Whereas the modern CNC machine tools are provided with **stepless** drives, enabling optimum selection and flexibly automatic control of the speeds and feeds.

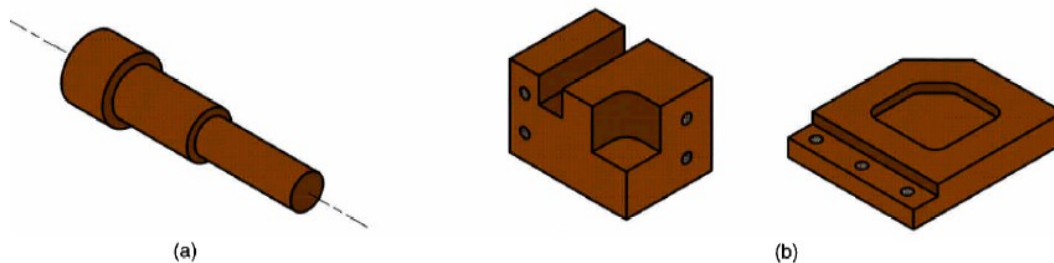
**Stepped drive** is attained by using gear boxes or cone pulley (old method) along with the power source. **Stepless drive** is accomplished usually by:

- Variable speed AC or DC motors
- Stepper or servomotors
- Hydraulic power pack

#### 4.4 Classification of machined part

Machining is a material removal process in which a sharp cutting tool is used to mechanically cut away material, so that the desired part geometry remains. **Machined parts** can be classified in **rotational** and **non rotational** (Figure 4.11).

**A rotational work part** has a **cylindrical** or **disk-shape**. The characteristic operation that produces this geometry is one in which a cutting tool removes material from a rotating work piece. Examples include turning and boring. Drilling is closely related except that an internal cylindrical shape is created and the tool rotates (rather than the work) in most drilling operations.



**Figure 4.11** Classification of machined parts [GRO 07]

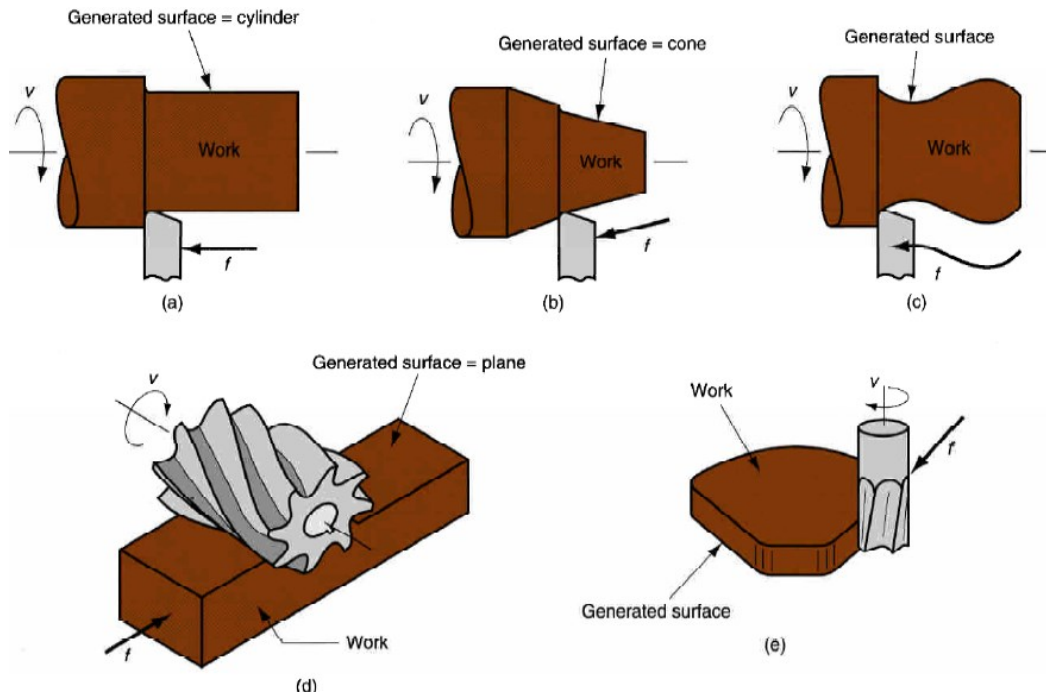
**A non rotational** (also called **prismatic**) work piece is block-like or plate-like, as shown in Figure 4.11 (b). This geometry is achieved by linear motion of the work part, combined with either rotating or linear tool motions. Operations in this category include: milling, planing, shaping, and sawing.

#### 4.5 Generating and forming of part shape

Each machining operation produces a characteristic geometry due to two factors: (1) the relative motions between the tool and the work part and (2) the shape of the cutting tool. These operations could be classified by which part shape is created as **generating** and **forming**.

In generating, the geometry of the work part is determined by the feed trajectory of the cutting tool. The path followed by the tool during its feed motion is imparted to the work surface in order to create shape.

Examples of generation the work shape in machining include straight turning, contour turning, peripheral milling and profile milling, as illustrated in Figure 4.12.

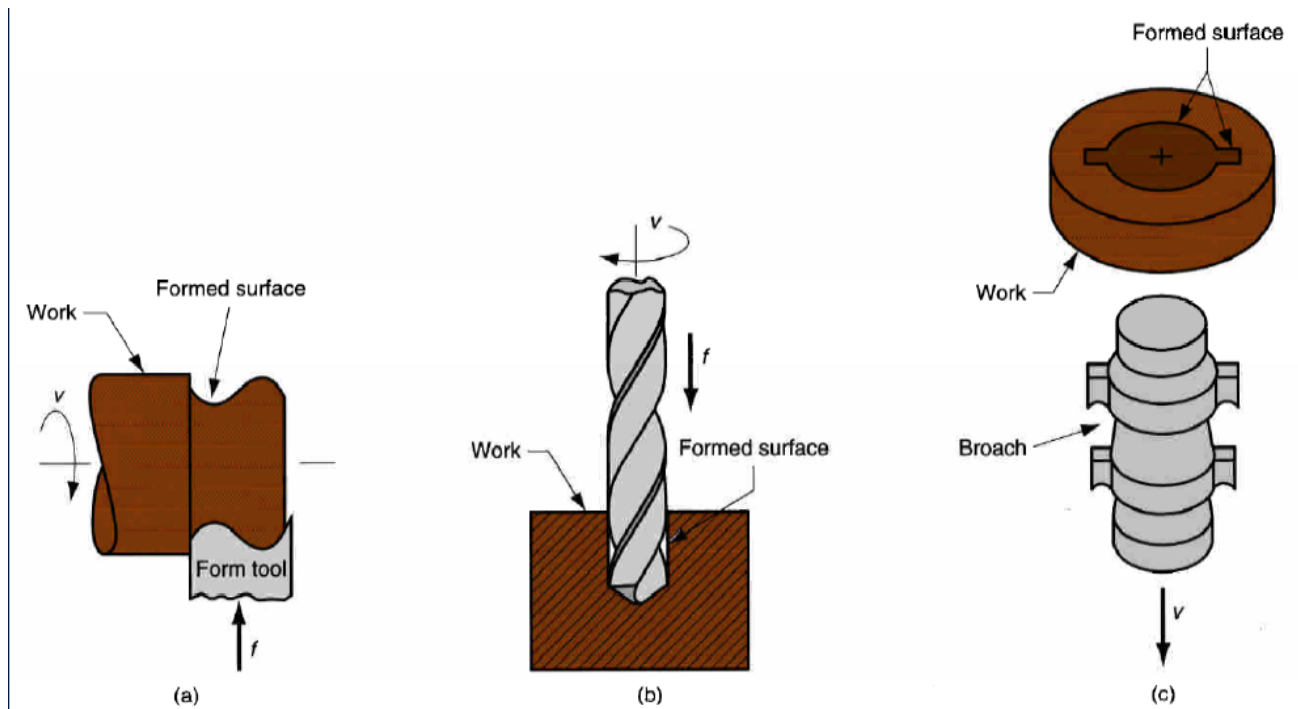


**Figure 4.12** Generating shape in machining: (a) straight turning, (b) taper turning, (c) contour turning, (d) plan milling and (e) profile milling [GRO 07]

In each of these operations, material removal is accomplished by the speed motion in the operation, but part shape is determined by the feed motion. The feed trajectory may involve variations in depth or width of cut during operations. For example, in contour turning and profile milling operations shown in the previous figure, the feed motion results in changes in depth and width, respectively, as cutting proceeds.

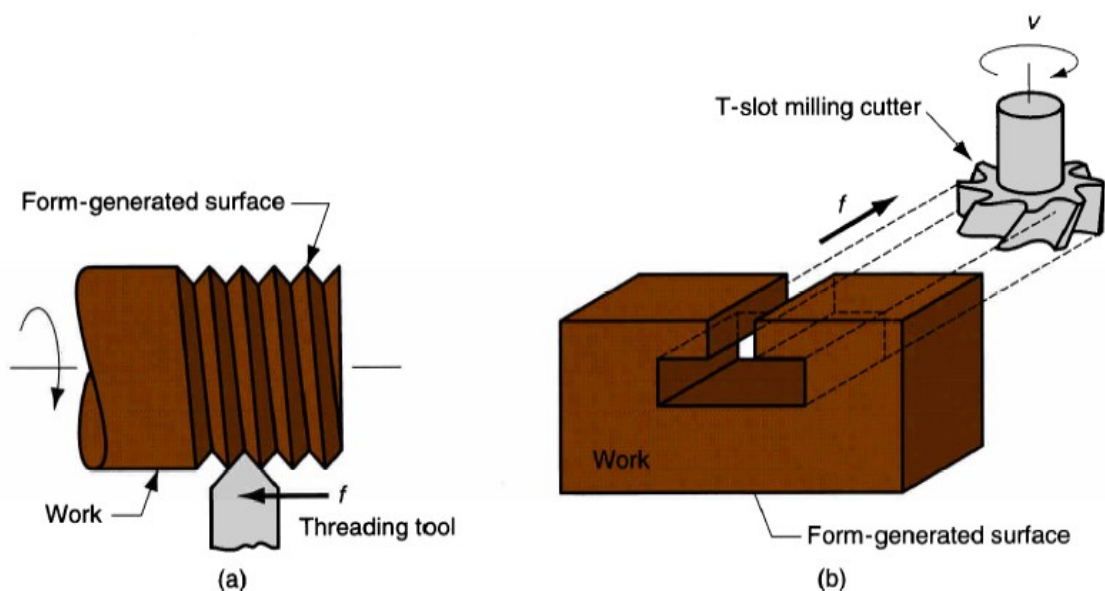
In **forming**, the shape of the part is created by the geometry of the cutting tool. In effect, the cutting edge of the tool has to reverse of the shape to be produced on the part surface. Form turning, drilling, and broaching are examples of this case. In these operations illustrated in Figure 4.13, the shape of the cutting tool is imparted to the work in order to create part geometry.

The cutting conditions in forming usually include the primary speed motion combined with a feeding motion that is directed into the work. Depth of the cut in this category of machining usually refers to the final penetration into the work after the feed motion has been completed



**Figure 4.13** Forming to create shapes: (a) form turning, (b) drilling, and (c) broaching [GRO 07]

**Forming** and **generating** are sometimes combined in one operation, as illustrated in Figure 4.14 for thread cutting on a lathe and slotting on a milling machine. In thread cutting, the pointed shape of the cutting tool determines the form of the threads, but the large feed rate generates the threads. In slotting (also called slot milling), the width of the cutter determines the width of the slot, but the feed motion creates the slot.



**Figure 4.14** Combination of forming and generating to create shape: (a) thread cutting on the lathe, (b) slot milling [GRO 07]

## 4.6 Configuration of Basic Machine Tools and their use

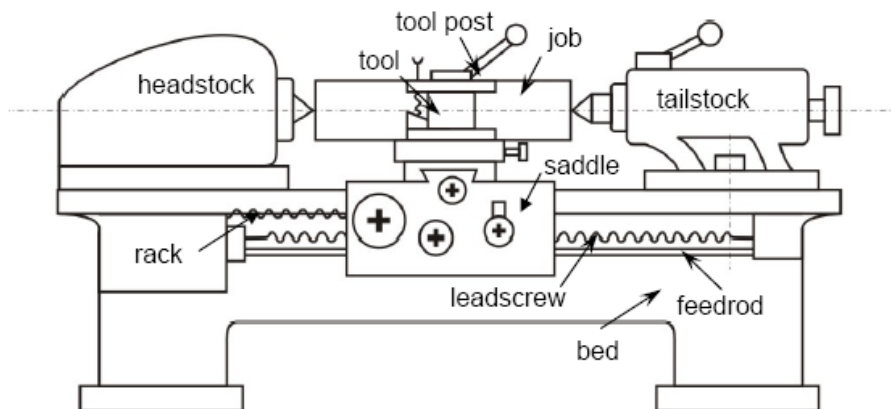
### 4.6.1 Centre lathes

**General configuration** of **center lathe** is depicted in Figure 4.15. Its major parts are:

- **Head stock:** it holds the blank and through that power and rotation are transmitted to the job at different speeds
- **Tailstock:** supports longer blanks and often accommodates tools like drills, reamers etc for hole making.
- **Carriage:** accommodates the tool holder which in turn holds the moving tools
- **Bed:** - headstock is fixed and tailstock is clamped on it. Tailstock has a provision to slide and facilitate operations at different locations

- carriage travels on the bed

- **Columns:** on which the bed is fixed
- **Work-tool holding devices**



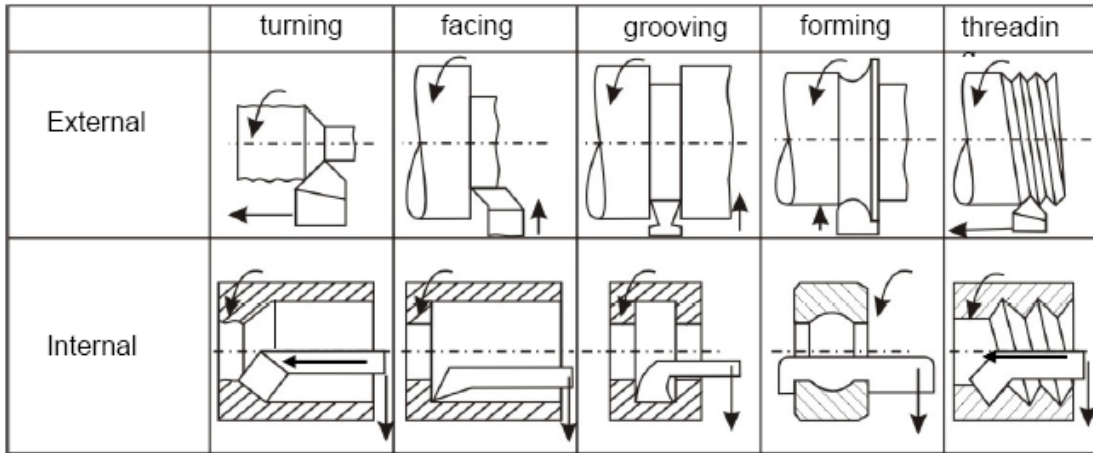
**Figure 4.15** Schematic view of a center lathe [AWI www]

Regarding the **uses of center lathes**, they are quite versatile being used for various operations:

- turning: - external (straight, taper, stepped) / - internal (straight, taper, stepped)
- facing, centering, drilling, recessing and parting
- thread cutting; external and internal
- knurling.



Some of those common operations are shown in Figure 4.16. Several other operations can also be done in center lathes using suitable attachments.

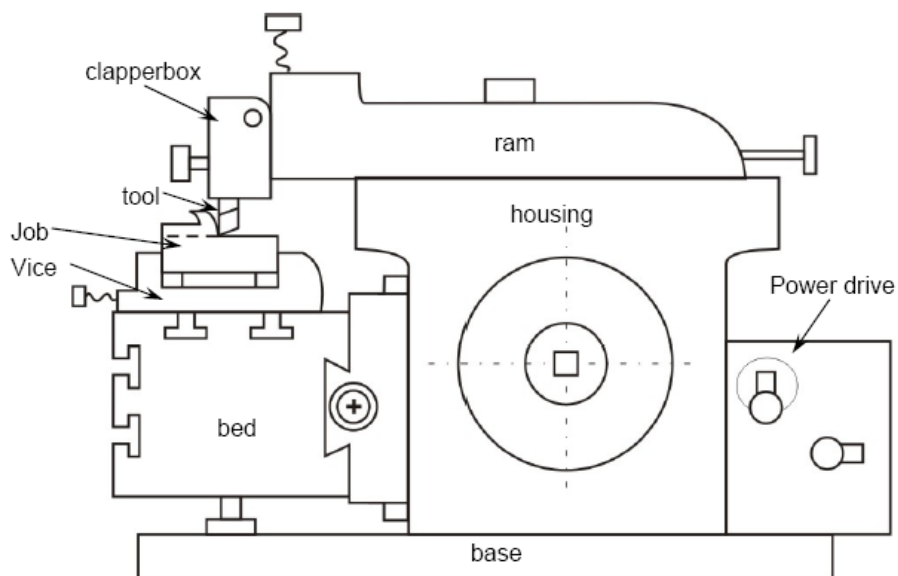


**Figure 4.16** Some common machining operations done in center lathes [AWI www]

#### 4.6.2 Shaping machine

Figure 4.17 shows the **general configuration of shaping machine**. Its major parts are:

- **Ram:** it holds and imparts cutting motion to the tool through reciprocation
- **Bed:** it holds and imparts feed motions to the job (blank)
- **Housing with base:** the basic structure and also accommodate the drive mechanisms
- **Power drive** with speed and feed change mechanisms.



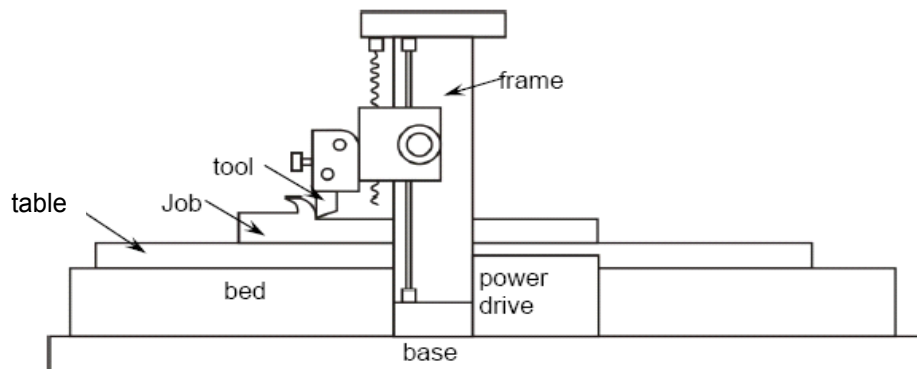
• **Figure 4.17** Schematic view of a shaping machine [AWI www]

Shaping machines are generally used for producing flat surfaces, grooving, splitting etc. Because of poor productivity and process capability these machine tools are **not widely** used now-a-days for production.

### 4.6.3 Planing machine

The **general configuration** is schematically shown in Figure 4.18. This machine tool also does the same operations like shaping machine but the major differences are:

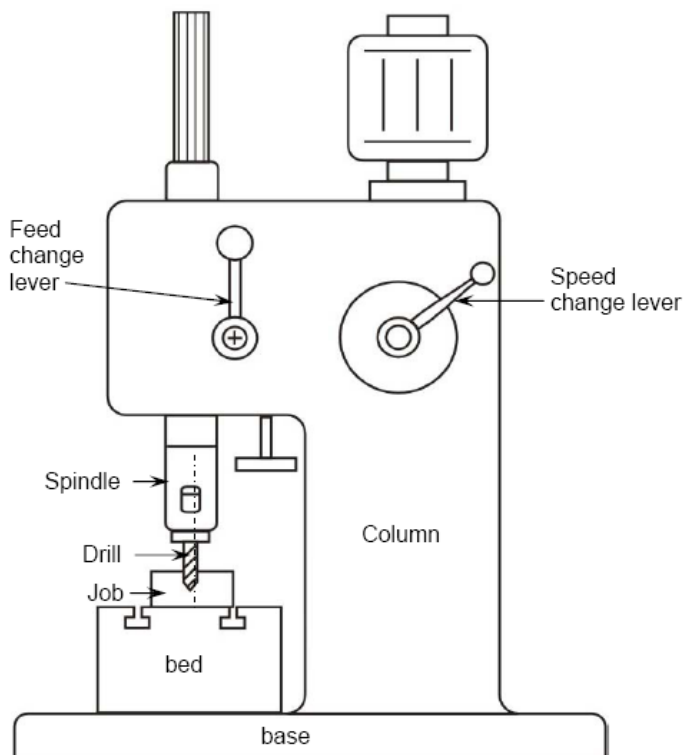
- In **planing** the job reciprocates for cutting motion and the tool moves slowly for the feed motions unlike in shaping machine.
- **Planing machines** are usually very large in size and used for large jobs and heavy duty work.



**Figure 4.18** Schematic view of a planing machine [AWI www]

### 4.6.4 Drilling machine

Figure 4.19 shows general configuration of **drilling machine**, column drill in particular.



**Figure 4.19** Schematic view of a drilling machine [AWI www]

The salient parts are

- **Column with base:** it is the basic structure to hold the other parts
- **Drilling head:** this box type structure accommodates the
- **Power drive** and the speed and feed gear boxes.
- **Spindle:** holds the drill and transmits rotation and axial translation to the tool for providing cutting motion and feed motion – both to the drill.

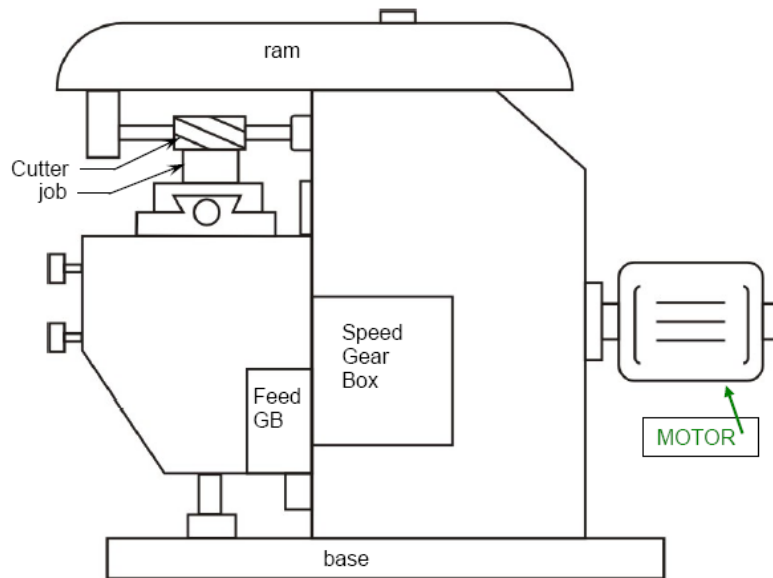
**Drilling machines** are available in varying size and configuration such as **column drill, radial drill, micro-drill** etc. but in working principle all are more or less the same. Drilling machines are **used:**

- Mainly for drilling (originating or enlarging cylindrical holes)
- Occasionally for boring, counter boring, counter sinking etc.
- Also for cutting internal threads in parts like nuts, using suitable attachment.

#### **4.6.5 Milling machine**

The general configuration of knee type conventional milling machine with horizontal ax is shown in Figure 4.20. Its major parts are:

- **Milling spindle:** to hold and rotate the cutter
- **Ram:** to support the spindle
- **Machine table:** on which job and job holding devices are mounted, to provide the feed motions to the job.
- **Power drive** with speed and gear boxes: to provide power and motions to the tool-work
- **Bed:** which moves vertically upward and downward and accommodates the various drive mechanisms
- **Column with base:** main structural body to support other parts.

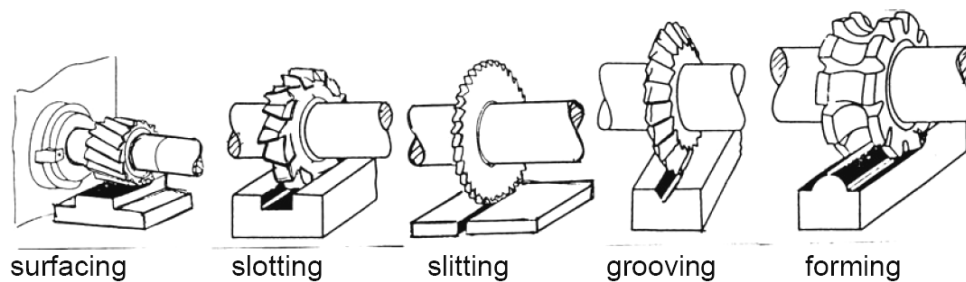


**Figure 4.20** Schematic view of a milling machine [AWI www]

Milling machines are also quite versatile and can do several operations like

- making flat surfaces
- grooving, slitting and parting
- helical grooving
- forming 2-D and 3-D contoured surfaces.

Figure 4.21 shows some of the aforesaid milling operations.



**Figure 4.21** Some common milling operation [AWI www]

#### 4.7 Specification of Machine Tools

A machine tool may have a large number of various features and characteristics. But only some specific salient features are used for specifying a machine tool. All the manufacturers, traders and users must know how machine tools are specified.

The methods of specification of some basic machine tools are as follows:

- **Centre lathe**
  - Maximum diameter and length of the jobs that can be accommodated

- Power of the main drive (motor)
- Range of spindle speeds
- Range of feeds
- Space occupied by the machine.

- **Shaping machine**

- Length, breadth and depth of the bed
- Maximum axial travel of the bed and vertical travel of the bed / tool
- Maximum length of the stroke (of the ram / tool)
- Range of number of strokes per minute
- Range of table feed
- Power of the main drive
- Space occupied by the machine

- **Drilling machine (column type)**

- Maximum drill size (diameter) that can be used
- Size and taper of the hole in the spindle
- Range of spindle speeds
- Range of feeds
- Power of the main drive
- Range of the axial travel of the spindle / bed
- Floor space occupied by the machine

- **Milling machine (knee type and with ax)**

- Type; ordinary or swiveling bed type
- Size of the work table
- Range of travels of the table in XYZ directions
- Arbour size (diameter)
- Power of the main drive
- Range of spindle speed
- Range of table feeds in XYZ directions
- Floor space occupied.

# Bibliografie

- [AWI www] Awiszus B., Matthes K.J., Dürr H., Bast J. - Grundlagen der Fertigungstechnik. ISBN 3-446-22799-7
- [FRA 11] Fratila D., Radu A., Păcurar A., Păcurar R., Conțiu G., Panc N., Pop G. Tehnologii de fabricație. Îndrumător pentru lucrări de laborator. Editura UT Press, Cluj-Napoca 2011. ISBN 978-973-662-626-5, 170 p.
- [GYE 04] Gyenge, Cs., Frățilă, D. Ingineria fabricației. Editura Alma Mater, Cluj-Napoca, 2004, ISBN 973-8397-77-4, 150 p.
- [GRO 07] Groover P. M. – Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems. 3<sup>rd</sup> Edition. ISBN 978-0-471- 74485-6. John Willey & Sons Inc.
- [GRO 10] Groover P. M. – Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems. 4<sup>th</sup> Edition. ISBN 978-0-471- 74485-6. John Willey & Sons Inc.
- [KAL 08] Kalpakjian, Schmid - Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5<sup>th</sup> Edition. ISBN. 0-13-227271-7.
- [KLO www] Klocke F. - Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneiden – Teil 2. Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre. Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren
- [PAN www] Pandey P. M. - Selecting and Planning the Process of Manufacture. [http:// paniit. iitd .ac.in/~ pmpandey](http://paniit.iitd.ac.in/~pmpandey)
- [WES 01] Westkämper E., Warnecke H.J. Einführung in der Fertigungstechnik. B.G. Teubner Stuttgart. Leipzig. Wiesbaden. ISBN 3-519-36323-2.