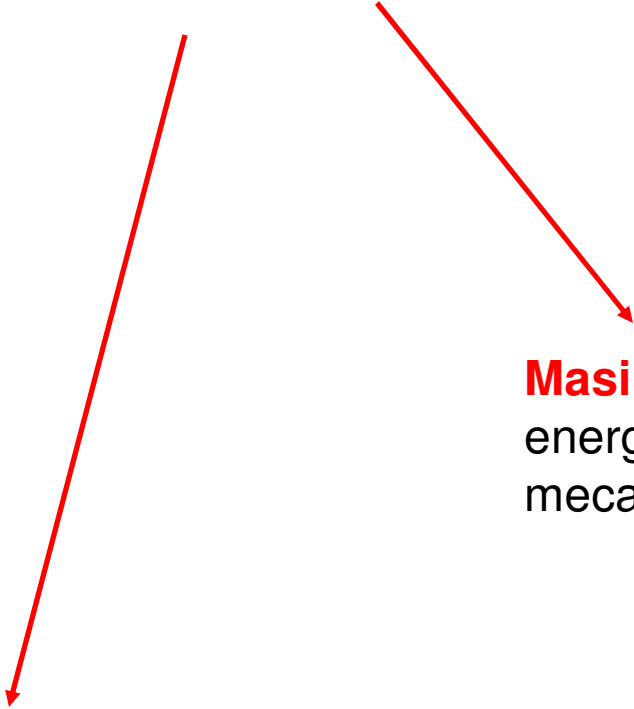


MASINI UNELTE SI UTILAJE

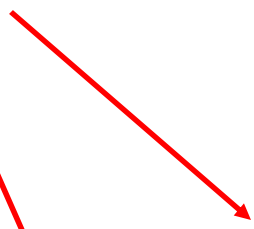
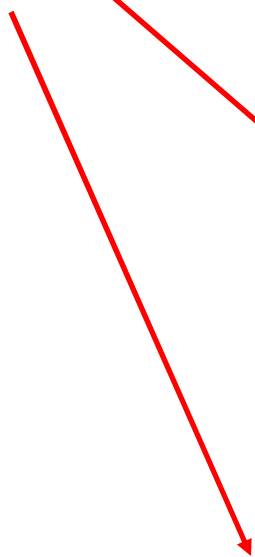
MASINI – constructii care transforma energia mecanica intr-o alta forma de energie sau transforma energia de o anumita forma in energie mecanica.



Masini de forta (energetice) – furnizeaza energie sub diferite forme, inclusiv energie mecanica

Masini de lucru – primesc energia, de obicei electrica, pe care o transforma in alte forme de energie, executand anumite obiecte sau produse.

Masini de lucru

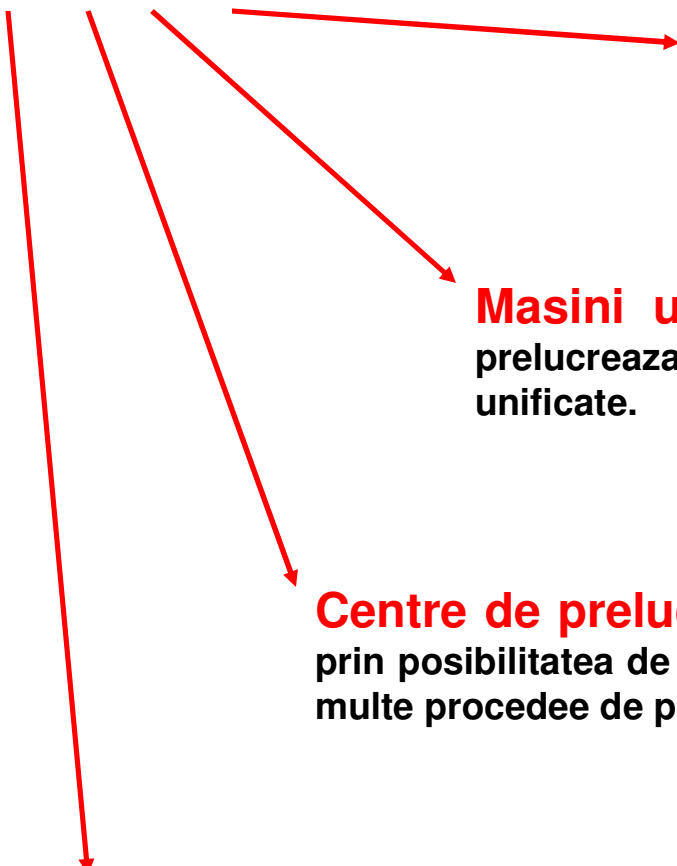


Masini unelte – masini de lucru din industria prelucratoare

Instalatii si utilaje

Utilaj tehnologic – masini de lucru din alte ramuri industriale

Masini unelte – masini de lucru avand rolul de a modifica forma si dimensiunile unor corpuri, in anumite conditii de productivitate, precizie dimensionala si calitate a suprafetei.



Masini unelte tipice – au un procedeu de prelucrare tipic (caracteristic)

Masini unelte agregate – utilizeaza mai multe scule care prelucreaza simultan, fiind construite din parti normalizate sau unificate.

Centre de prelucrare – masini unelte multioperationale, caracterizate prin posibilitatea de a schimba automat mai multe scule si de a utiliza mai multe procedee de prelucrare, toate fiind caracteristice.

Linie tehnologica automata – mai multe MU, agregate si centre de prelucrare, cu asigurarea automatizarii tuturor operatiilor de prelucrare, control si transport.

DUPA GRADUL DE SPECIALIZARE

Masini unelte universale

Cu destinatie larga, pe care se pot executa cateva procedee pe langa cel tipic, pentru o gama larga de piese, in productii individuale sau de serie mica

Masini unelte specializate

Pe care se prelucreaza un anumit tip de piese cu un procedeu de baza sau tipic (masini de danturat cu freza-melc, de rectificat cu arbori canelati, etc), fiind destinate productiei de serie

Masini unelte speciale

Destinate prelucrarii unei piese de o anumita forma si cu anumite dimensiuni, utilizate in fabricatia de serie mare si de masa (inclusiv cele agregate)

DUPA PRECIZIA DE PRELUCRARE

Masini unelte de precizie normala

Masini unelte de precizie ridicata

**Masini unelte foarte precise sau
etalon**

DUPA MARIME

Masini unelte mici

Masini unelte mijlocii

Masini unelte mari

DUPA PROCEDEUL DE PRELUCRARE



Masini unelte conventionale

Utilizeaza procedee de prelucrare conventionala



Masini unelte neconventionale

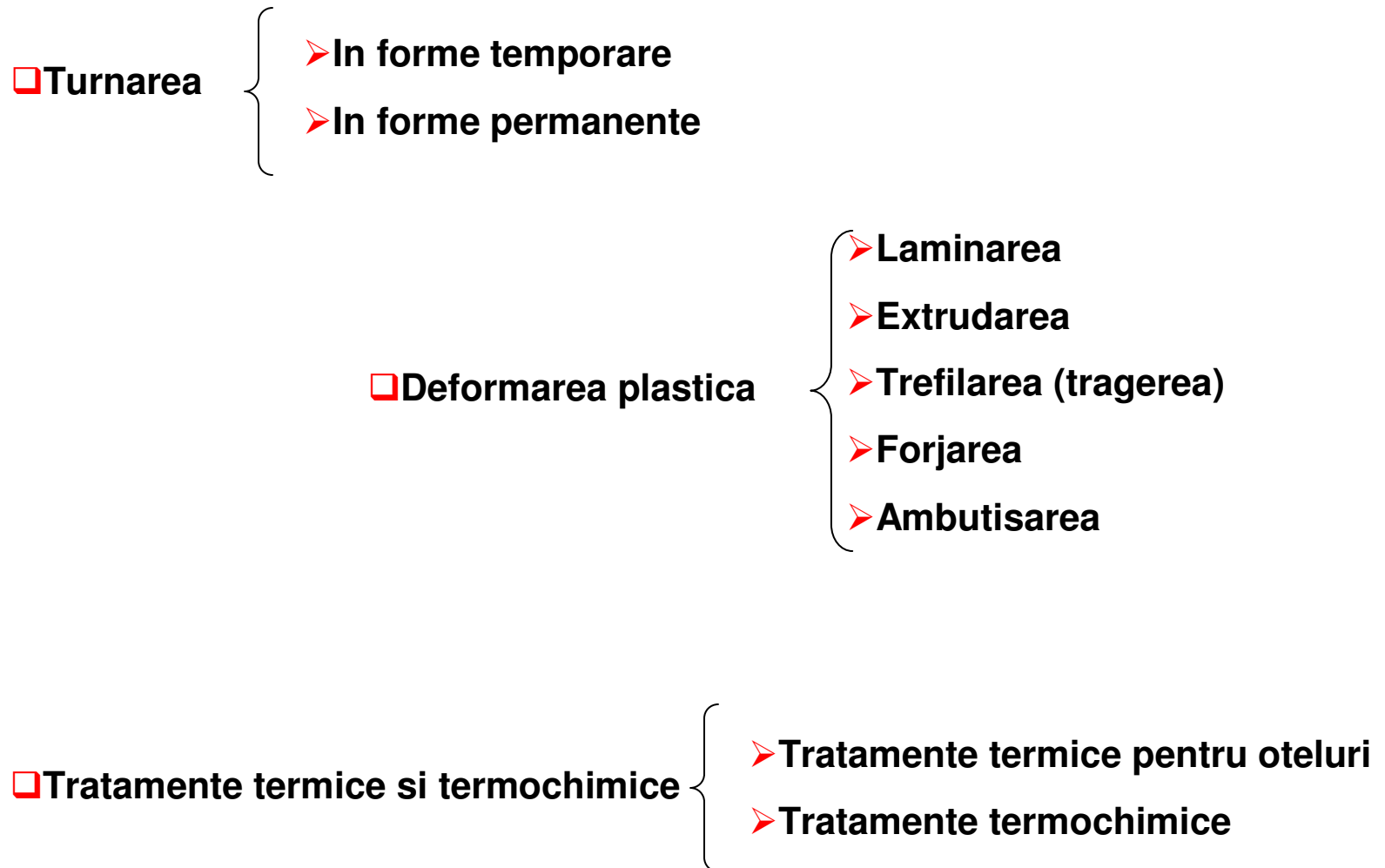
Utilizeaza procedee de prelucrare neconventionala

TEHNOLOGII NECONVENTIONALE

Sunt procedee de prelucrare complementare celor conventionale avand un grad avansat de automatizare si indicatori tehnologici superiori

TEHNOLOGII CONVENTIONALE DE PRELUCRARE A PIESELOR

1. TEHNOLOGII de prelucrare la cald



2. Sudarea, lipirea si debitarea

3. TEHNOLOGII de prelucrare la rece

- ❑ Presare la rece
 - Operatii de taiere (retezare, decupare, stantare, tundere)
 - Operatii de deformare plastica (ambutisare, fasonare, formare)

❑ Finisare suprafetelor prin prelucrari mecanice

- Razuire
- Lepuire (procedeu tehnologic de prelucrarea unor suprafete pentru imbunatatirea calitatii si obtinerea unei precizii dimensionale ridicate, inaccesibile altor procedee de prelucrare prin aschiere, care se realizeaza cu ajutorul unor pulberi abrazive in suspensie, introduse intre scula de lepuire si suprafata de prelucrare)
- Lustruire
- Honuire (procedeu de suprafinisare a alezajelor cilindrice utilizand scule abrazive sub forma unor bare prismatice, cu granulatie foarte fina, montate intr-un cap purtator numit hon.

□ Prelucrari prin aschiere

- **Strunjire**
- **Gaurire si alezare**
- **Frezarea (prelucrarea suprafetelor plane, profilate riglate, curbe in plan sau in spatiu, utilizand scule cu mai multe muchii aschietoare)**
- **Rabotarea (procedeu de prelucrare prin aschiere a suprafetelor pe directie longitudinala sau transversala printr-o miscare principala rectilinie-alternativa si o miscare de avans intermitent)**
- **Mortezarea**

TEHNOLOGII NECONVENTIONALE DE PRELUCRARE A PIESELOR

- ❑ Sunt procedee de prelucrare complementare celor conventionale avand un grad avansat de automatizare si indicatori tehnologici superiori.
- ❑ Se utilizeaza in cazul unor piese si materiale cu proprietati specifice deosebite si cu configuratii complexe.
- ❑ Utilizeaza predominant energia electrica sub diverse forme, termica, mecanica, radianta, electrochimica sau combinatii.

Aplicarea se face sub forma de impulsuri



- Densitati energetice ridicate
- Prelucrari cu viteze mari

ELECTROTEHNOLOGII

□ Gama de procedee in care energia electrica are un rol activ, nemijlocit, in schimbarea formei, continutului sau structurii semifabricatului.

□ Au ca baza efectele fizico-chimice ale curentului electric

- Termice (efect Joule)**
- Chimice (transport in solutii de electrolit)**
- Dielectrice (descarcari electrice)**
- Magnetice (producerea de campuri magnetice intense)**
- Luminoase (descarcari in gaze)**

Particularitati:

- ❑ Ponderea materialelor speciale prelucrabile eficient numai cu aceste metode a crescut**
- ❑ S-au dezvoltat noi echipamente de prelucrare cu facilitati deosebite, ce aduc castiguri substantiale de productivitate si calitate la costuri competitive**
- ❑ Echipamentele electrotehnologice pot fi informatizate si deci usor de integrat in sisteme de prelucrare flexibile**

ELECTROTEHNOLOGII ACTIVE: realizeaza indepartarea sau depunerea de material, modificarea formei sau structurii acestuia

| PROCEDEUL DE PRELUCRARE | AGENTUL EROZIV |
|--|--|
| Eroziune electrica | Descarcari electrice de impuls |
| Eroziune cu plasma | Arc electric sau jet de plasma |
| Eroziune electrochimica (dizolvare anodica) | Electrolit in camp electric |
| Eroziune chimica | Substanta chimica activa |
| Eroziune complexa (electrochimica si electrica) | Arc electric nestationar si electrolit in camp electric |
| Eroziune cu radiatii corpusculare si electromagnetice | Radiatie corpusculara sau electromagnetica |
| Eroziune complexa (abraziva si cavitationala) | Suspensie abraziva |

ELECTROTEHNOLOGII PASIVE: cuprind procedeele de masura, control, transmisie de date, etc

1. Defectoscopie electromagnetica

➤ **Cu camp magnetic**

➤ **Cu curenti turbionari**

2. Defectoscopie cu laser

3. Defectoscopie cu ultrasunete

4. Iradierea

5. Procedee electrostatice

TEHNOLOGII SI MASINI UNELTE CONVENTIONALE

Masini-unelte: sisteme electromecanice destinate prelucrarilor prin aschiere

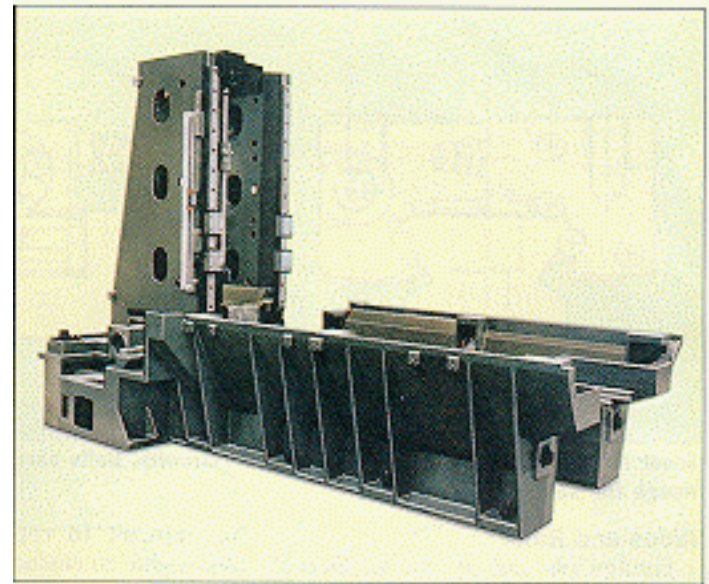
1. PIESE PORTANTE

☐ Sunt piesele mari ale masinilor-unelte, care:

- preiau, transmit sau sustin incarcările din functionare si din greutate proprii
- conduc miscari
- sustin diferite sisteme, componente, dispozitive, piese de prelucrat

☐ Caracteristici:

- Rigiditate
- Rezistentă la vibrații
- Greutate minimă



Traversa

Montanti



**Masa de
lucru**

Batiu

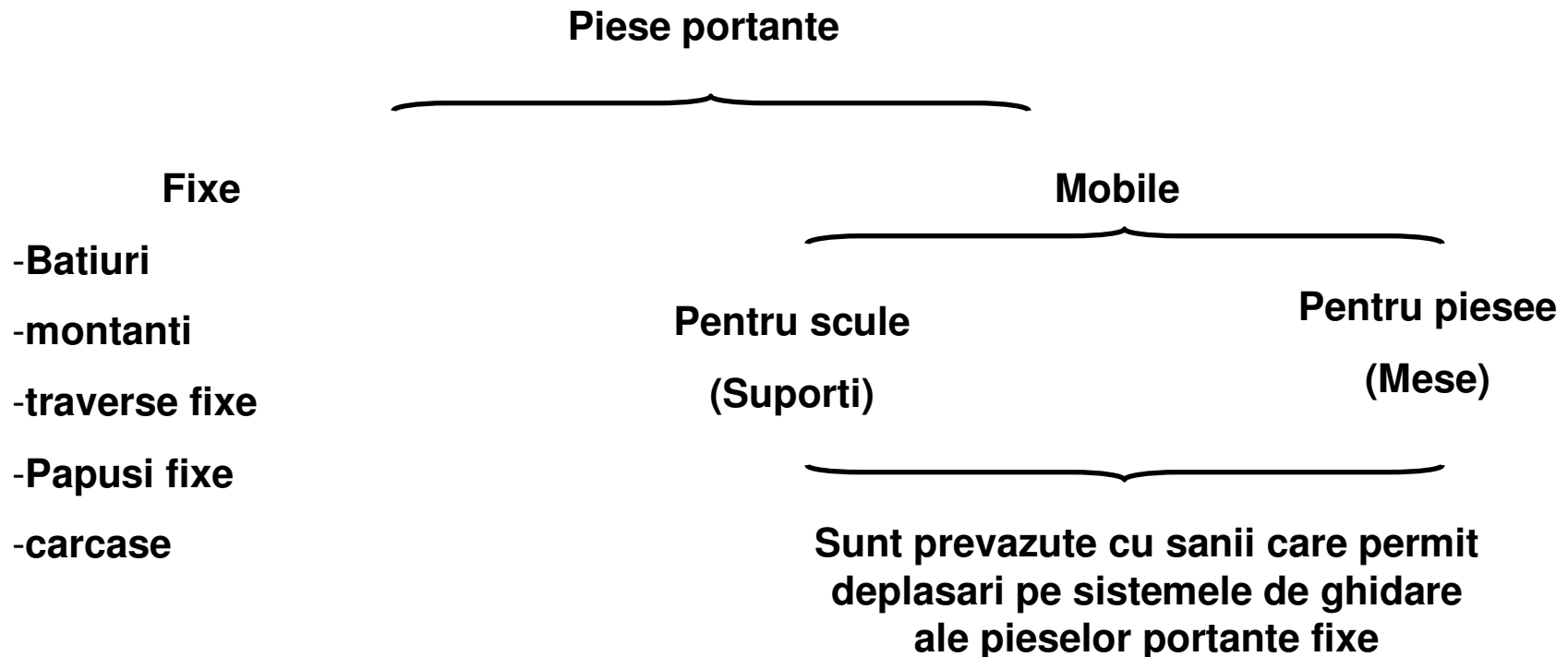
2009-2010

SEM - CURS 6

18

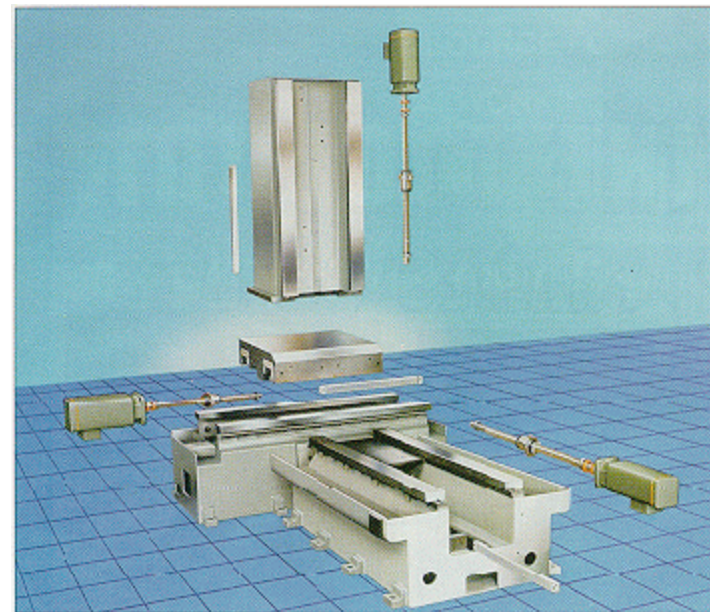
❑ **Sunt realizate din:**

- **fonta cenusie pentru MU, conform STAS 8541-86**
- **fonta modificata (cu grafit lamelar sau globular)cu rezistenta la uzura mai mare**
- **fonta aliata (slab aliata cu Ni, Cr, Mg, Ti, V) cu caracteristici mecanice superioare**



2. SISTEME DE GHIDARE

- ❑ Au rolul de a conduce saniile pieselor portante mobile ale MU, suportand fortele pe care acestea le transmit in timpul functionarii masinii.
- ❑ Conducerea si ghidarea trebuie sa se realizeze cu precizia prescrisa initial si in durata, atat in stare libera cat si sub sarcina nominala.



□ Caracteristici necesare:

➤ **viteza saniei trebuie sa respecte valoarea transmisa, fara oscilatii**

➤ **Trebuie controlate**

❖ **forta de frecare,**

❖ **regularitatea miscarii la viteze mici si la pozitionare**

❖ **Rigiditatea statica**

❖ **Capacitatea de amortizare**

❖ **Costul executiei**



Sistem de
ghidare

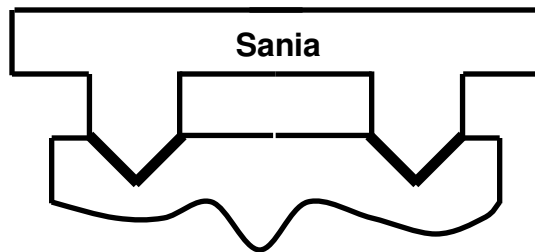


Sistem de
ghidare

Dupa directia fortei rezultante

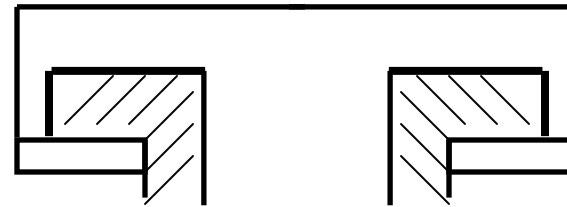
Deschis

Conduce sania numai pentru anumite directii ale fortei rezultante



Inchis

Conduce sania pentru orice directie a fortei rezultante, sania avand numai un grad de libertate, pentru deplasare sau rotire.



Dupa tipul frecarii intre fatetele saniei si ale piesei portante

□ **Cu alunecare – intre fatetele imbinate contactul se face direct sau printr-un lichid de ungere**



Cu frecare mixta – caracterizate prin frecare uscata, limita si lichida

Cu frecare lichida – caracterizate prin prezenta unei “pene” de ulei

□ De rulare – între fatetele îmbinate prezintă corpuri de rulare care pot fi role, bile sau ace.

➤ Avantaje:

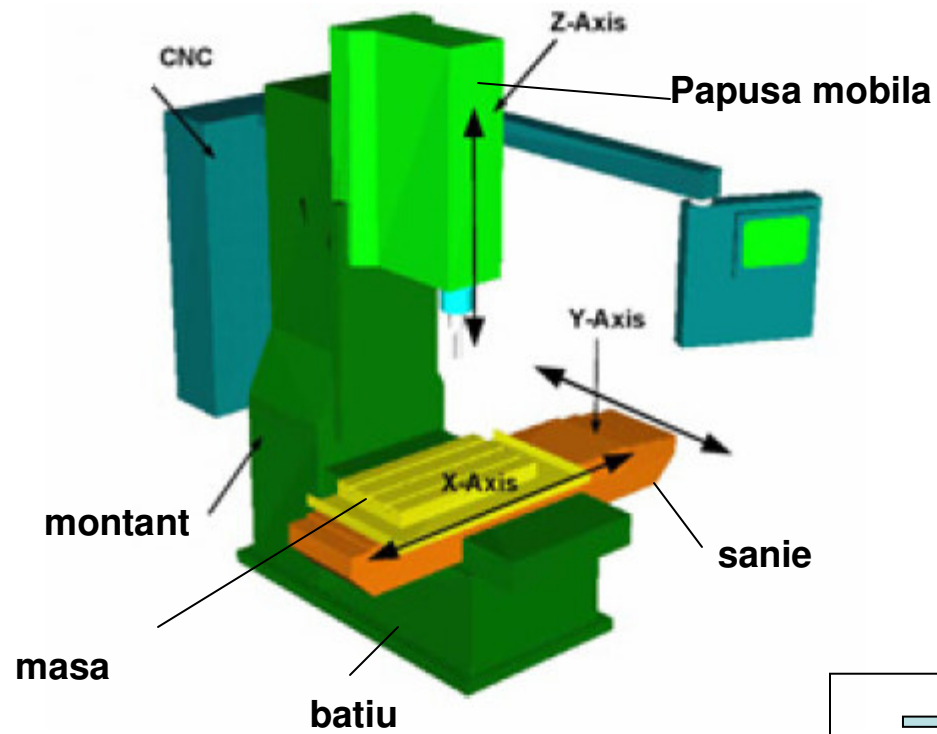
- ❖ Forte de frecare foarte mici, ceea ce evita mersul sacadat al saniei la viteze mici**
- ❖ Precizie ridicată de poziționare**
- ❖ Permit viteze de deplasare mari**
- ❖ Durabilitate mare în exploatare**

➤ Dezavantaje:

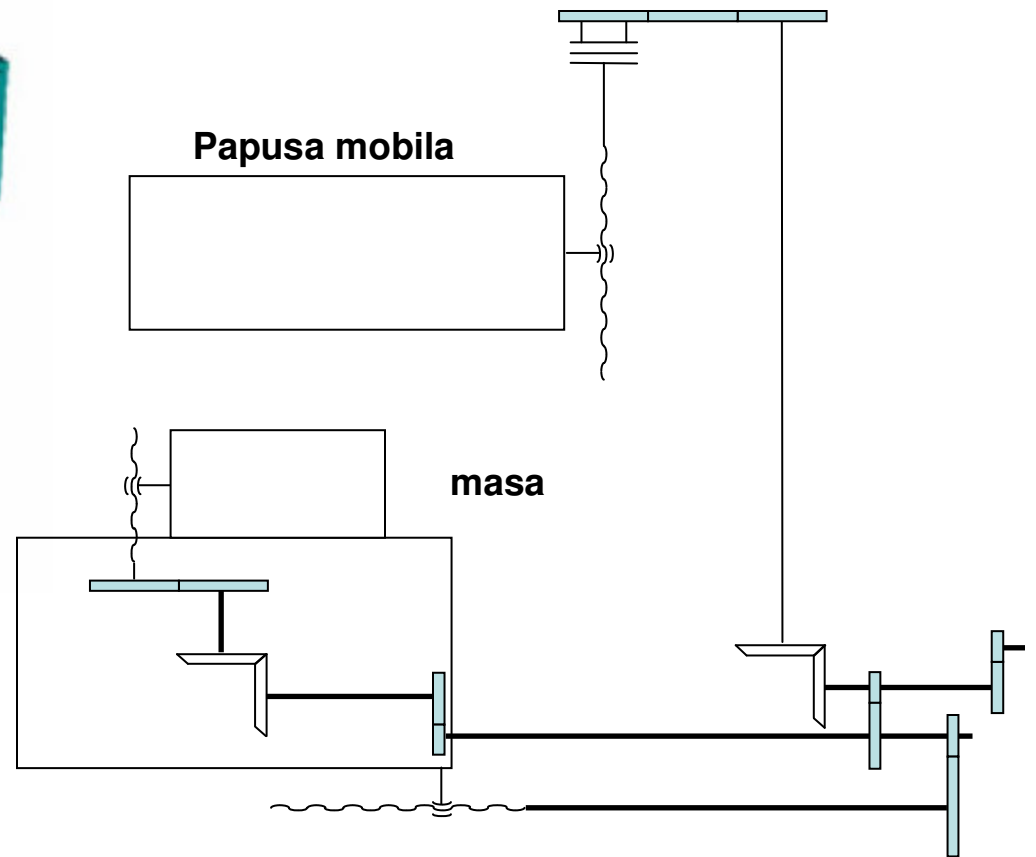
- ❖ Executie complicata**
- ❖ Capacitate redusa de amortizare a vibratiilor**
- ❖ Dificultati in realizarea unei protectii bune**

□ Combinate

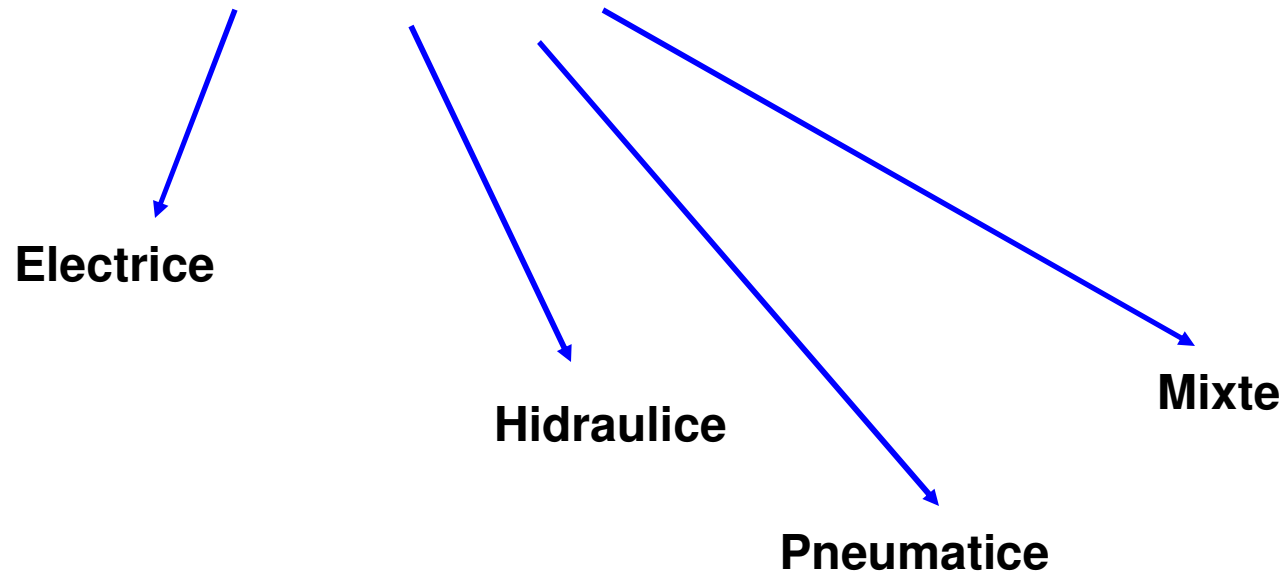
3. LANTURI CINEMATICE



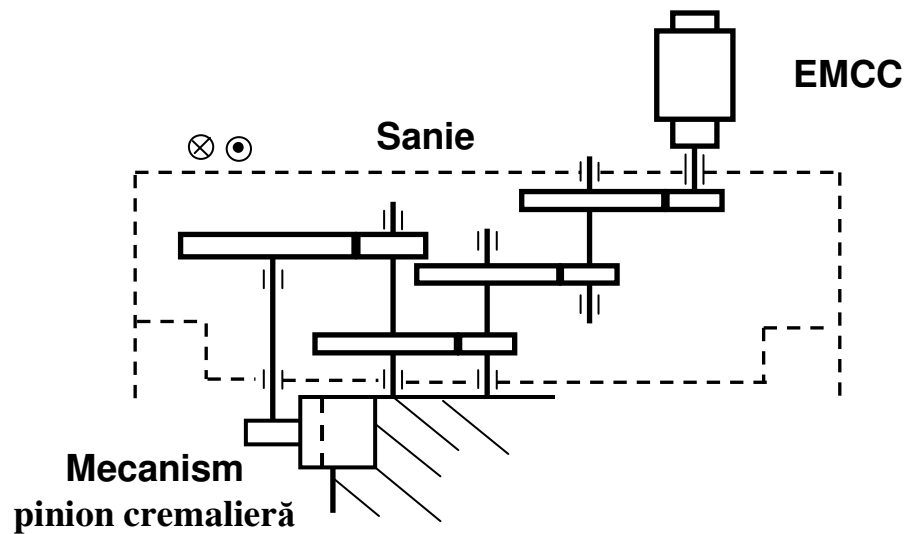
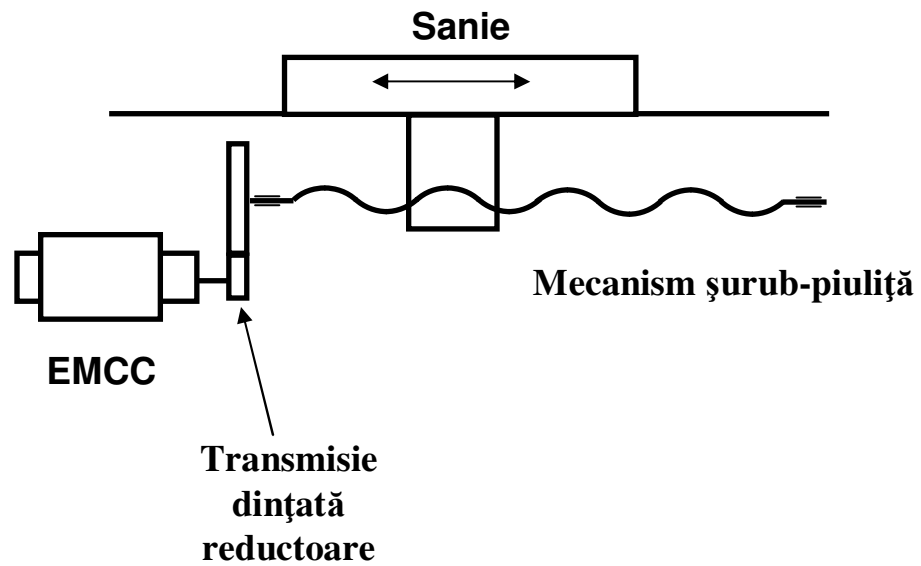
Schema cinematica simplificata



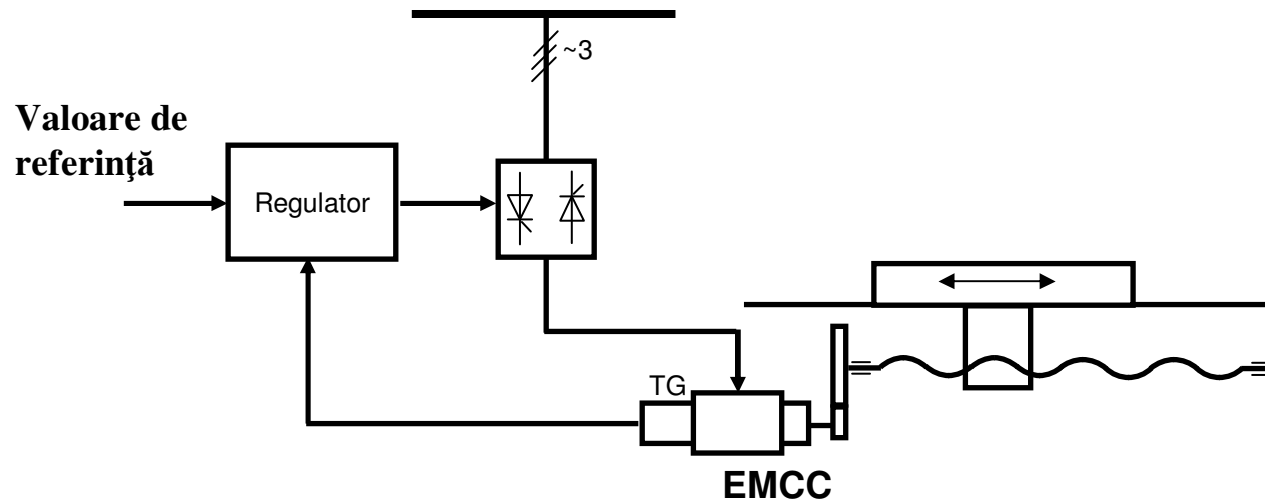
4. SISTEME DE ACTIONARE



ACȚIONAREA SĂNIILOR CU EMCC PRIN TRANSMISIE DINȚATĂ REDUCTOARE ȘI ȘURUB-PIULIȚĂ.



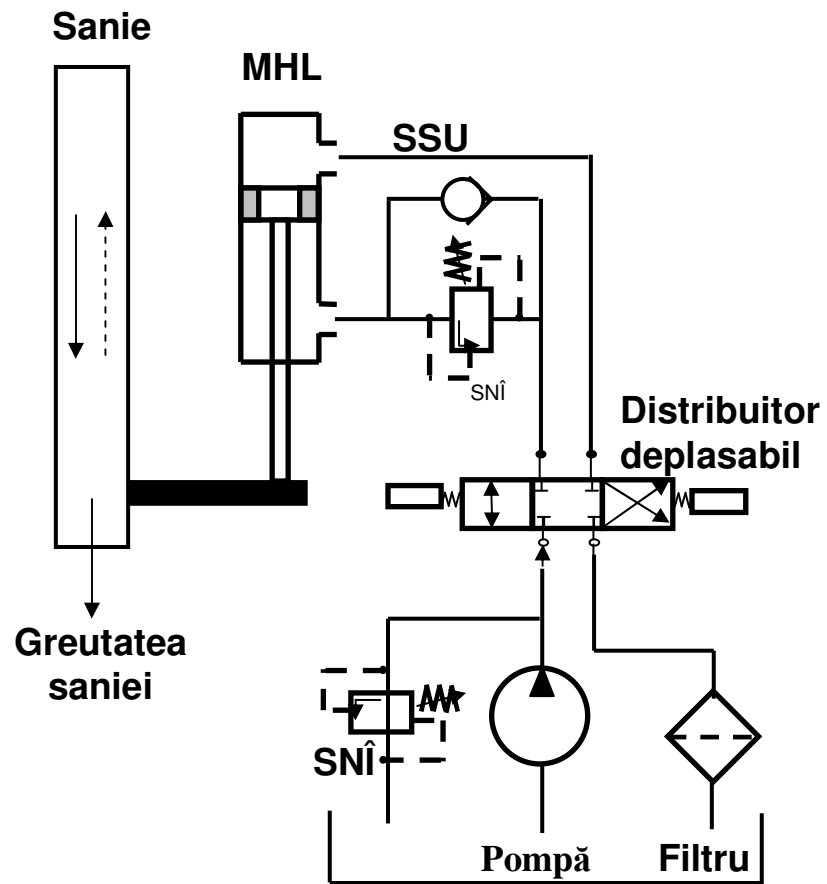
ACȚIONAREA SĂNIILOR CU EMCC PRIN TRANSMISII REDUCTOARE ȘI PINION-CREMALIERĂ.



ACȚIONAREA SĂNIILOR CU EMCC ALIMENTAT ȘI COMANDAT PRIN CONVERTOR DE PUTERE.

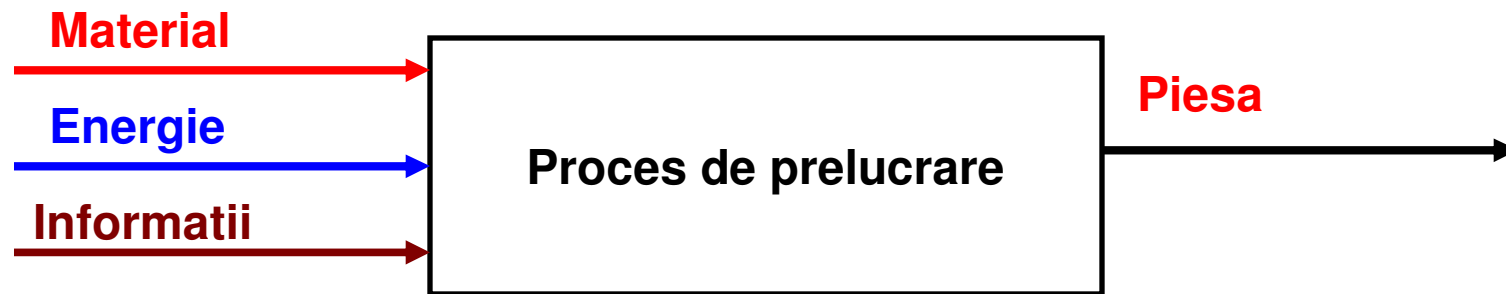
Avantajele prezentate de acționările hidraulice le recomandă în acționarea săniilor mașinilor-unelte:

- viteză constantă pe toată cursa saniei;
- reglarea continuă a vitezei;
- inversarea cu ușurință a sensului mișcării, cu efecte dinamice reduse;
- posibilitatea automatizării ciclului de lucru prin telecomandarea aparatului hidrostatic.



SISTEM DE ACȚIONARE HIDRAULICĂ A UNEI SĂNII CARE EXECUTĂ MIȘCAREA PRINCIPALĂ RECTILINIE – ALTERNATIVĂ PE VERTICALĂ.

5. COMANDA MASINILOR-UNELTE



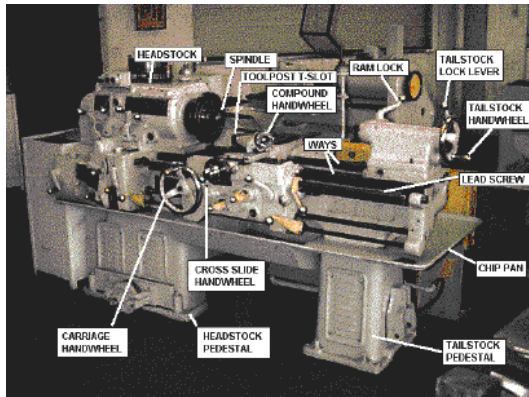
Informatii de lucru: totalitatea datelor initiale, rezultate din desenul de executie si din planul de operatii sau fisa tehnologica, necesara prelucrarii.

Informatii constante sau independente de proces: cele inmagazinate in constructia MU si a sculelor.

Informatii variabile sau dependente de proces: cele dependente de piesa de prelucrat si de procesul tehnologic, ele deserving miscarile dependente de sistemul de comanda;

- **informatii dimensionale:** datele initiale asupra formei si dimensiunilor curbelor generatoare si directoare ale piesei
 - ❑ **informatii de deplasare**
 - ❑ **informatii de comutare**
- **informatii adimensionale sau tehnologice:** datele initiale asupra tehnologiei de prelucrare, pentru a se obtine piesa in conditii tehnico-economice impuse

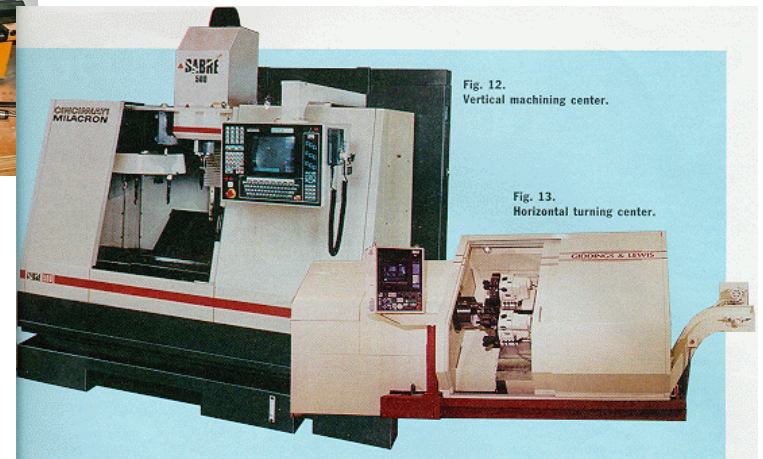
Comanda manuala



Comanda automata



Comanda numerica



TEHNOLOGII SI MASINI UNELTE NECONVENTIONALE

I. ELECTROEROZIUNEA

❑ Este un procedeu de prelucrare prin eroziune electrica bazat pe fenomene erozive complexe, discontinue si localizate ale unor descarcari electrice prin impuls amorsate separate in mod repetat intre electrodul scula si piesa.

❑ Caracteristici

- energia electrica se introduce direct la suprafata obiectului prelucrat
- impulsurile au o durata stabilita pentru a se putea face o preluare a materialului de toata zona interstitiului de lucru
- regimul de lucru trebuie sa asigure o productivitate mare cu uzura minima a electrodului scula
- starea initiala trebuie restabilita continuu pentru ca procesul sa se reproduca fidel



Se impune circulatia, eventual fortata, a lichidului de lucru

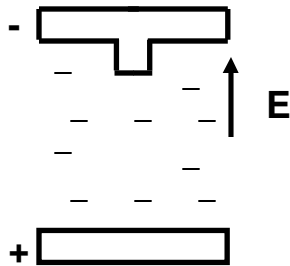
□ Avantaje

- Permite prelucrarea materialelor bune conductoare de electricitate, indiferent de proprietatile fizico-chimice ale acestora
- Oferă condiții economice la prelucrarea pieselor de formă complexă
- Asigură precizie ridicată a piesei prelucrate
- Piese pot fi atât de dimensiuni mari, cât și de dimensiuni mici
- Se exercită o acțiune mecanică minimă asupra piesei de prelucrat

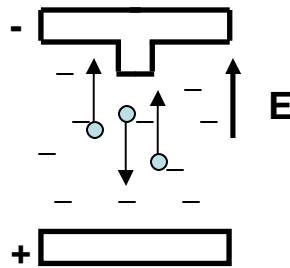
□ Tipuri

- Prelucrarea prin eroziune cu descărcări amorțite prin străpungerea unui mediu dielectric cu un electrod
- Prelucrarea prin eroziune cu contact electric

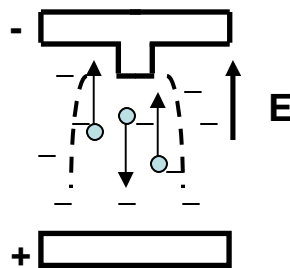
Prelucrari cu descarcari in medii dielectrice



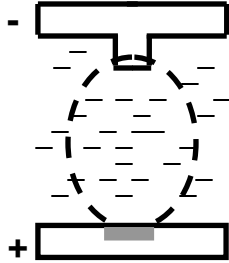
Initierea unei descarcari intre electrodul scula si piesa cu purtatori de sarcina ioni si electroni



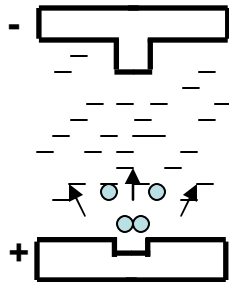
Etapa descarcarii luminiscente



Accentuarea efectelor ionizante, intre cei doi electrozi se formeaza un canal de plasma cu conductivitate electrica mare si temperatura ridicata, descarcarea evoluand spre descarcarea in arc electric.



Formarea unei bule de gaze in jurul canalului de descarcare, cu presiuni si temperaturi mari in interior, ceea ce provoaca fenomene de piroliza (descompunere termica) a lichidului de lucru.



Prin intreruperea curentului, bula de gaze dispare, iar particulele de metal din zonele topite sunt antrenate de fenomenele hidrodinamice, formandu-se mici cratera.

Fenomene de baza:

☐ Termice, determinate de cedarea brusca a energiei cinetice a sarcinilor electrice in miscare

- **Produce topire, lenta sau rapida, sau vaporizare, lenta sau rapida**
- **Este preferabila topirea**
- **Metalul evacuat se solidifica apoi in lichidul de lucru, acesta evacuandu-l din interstitiul de lucru.**

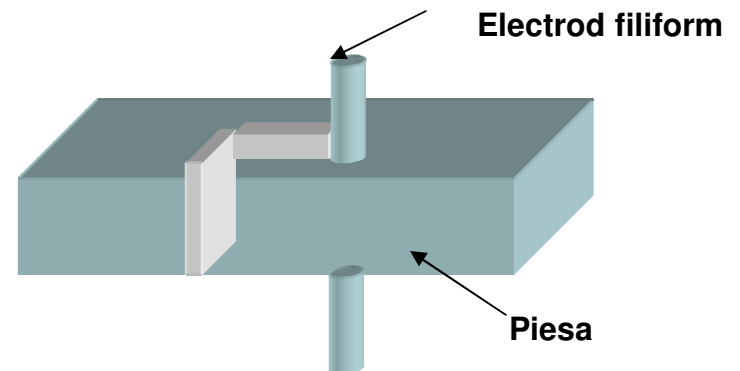
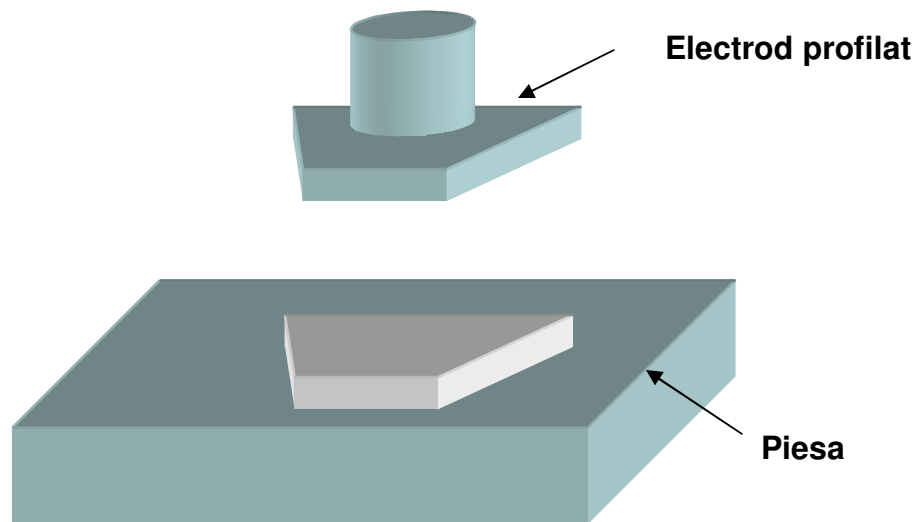
☐ Mecanice si hidrodinamice, generate de formarea bulelor de gaz, expasiunea si apoi spargerea lor la intreruperea curentului

Caracteristici ale materialelor pentru electrod si piesa:

- **Sa prezinte uzura minima in cursul procesului**
- **Sa aiba rezistivitate electrica relativ mica**
- **Sa fie stabile la coroziune**
- **Sa poata fi usor de prelucrat**
- **Sa aiba cost redus.**

Electrod scula

- ❑ **Materiale: cuprul, grafitul, pseudoaliajul W-Cu**
- ❑ **Tip:**
 - **Electrod profilat**
 - **Electrod sub forma de fir**





Cu electrod profilat

2009-2010



Cu electrod fir

SEM - CURS 6

43

Lichidul de uzinare

□ Asigura mediul electroizolant intre piesa si scula

□ Asigura vehicularea particulelor de metal prelevate

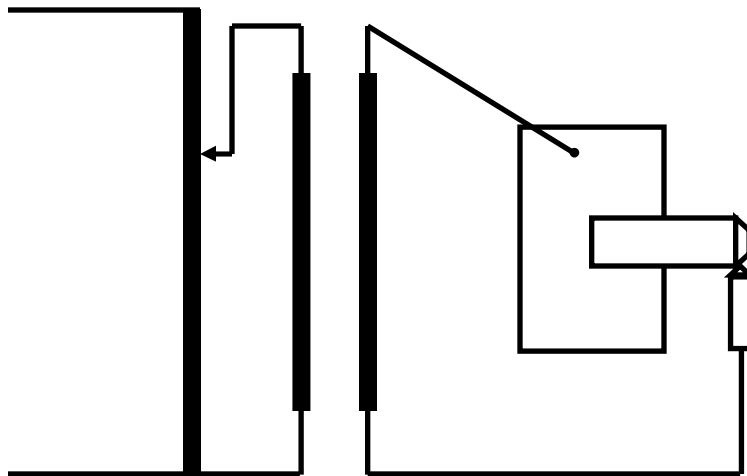
□ Caracteristici:

- Sa aiba o rigiditate dielectrica mare si buna capacitate de racire**
- Sa nu produca prin descompunere gaze nocive sau compusi corozivi**
- Sa aiba viscozitate mica si capacitate buna de udare, pentru a patrunde in interstitii**
- Sa fie stabil chimic si sa nu produca reziduri conducatoare**
- Sa fie neutru chimic**
- Sa aiba temperatura ridicata de inflamare**
- Sa aiba un pret accesibil.**

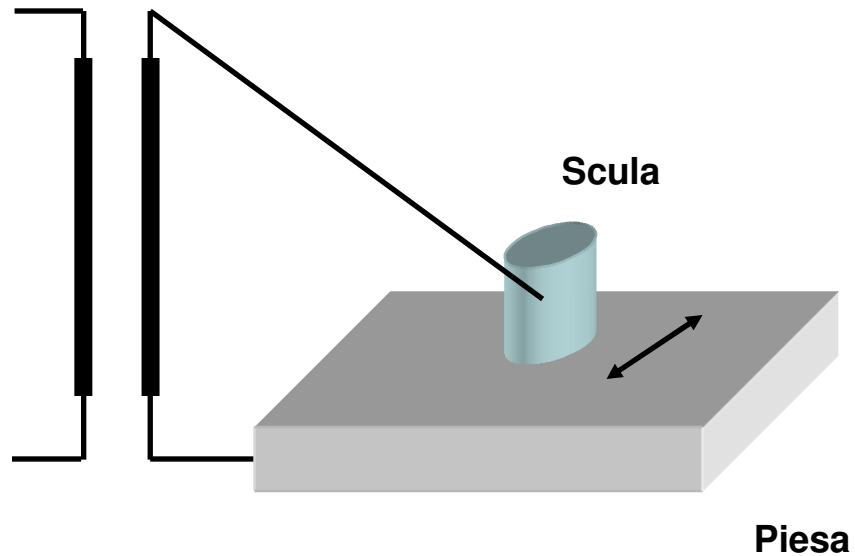
| Lichidul | Avantaje | Dezavantaje | Utilizari |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> •Apa deionizata | <ul style="list-style-type: none"> •Nu carbureaza suprafata, • nu murdareste, cost redus, •se obtine rugozitate mica | Pot apare procese de: <ul style="list-style-type: none"> •Electroliza •Oxidarea suprafetelor | <ul style="list-style-type: none"> •Prelucrari materiale conductoare |
| <ul style="list-style-type: none"> •Petrol •Ulei de transformator | <ul style="list-style-type: none"> •Formare pelicula grafit pe electrod •Buna eliminare a particulelor | <ul style="list-style-type: none"> •Murdarire cu cenusa fin dispersata •Inflamabilitate •Rugozitate mare | <ul style="list-style-type: none"> •Degrosare •Finisare |
| <ul style="list-style-type: none"> •Apa industrială •Suspensii apoase | <ul style="list-style-type: none"> •Murdarire minima •Cost redus | <ul style="list-style-type: none"> •Imbatranire rapida •Corodare datorita proceselor electrochimice | <ul style="list-style-type: none"> •Degrosare |
| <ul style="list-style-type: none"> •Alcool etilic •Alcool metilic | <ul style="list-style-type: none"> •Murdarire minima •Rugozitate mica | <ul style="list-style-type: none"> •inflamabilitate | <ul style="list-style-type: none"> •Prelucrare de precizie |

Prelucrari prin electroeroziune cu contact

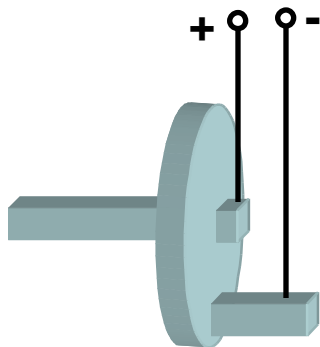
- ❑ Se bazeaza pe amorsarea descincarilor in arc nestationar prin intreruperea contactelor electrice parcurse de curent, contacte stabilite temporar intre electrodul scula si obiectul de prelucrat, aflate in miscare relativa.
- ❑ Prelucrarea se face sub actiunea concomitenta a descincarilor in arc nestationar si a actiunilor mecanice si termice care apar la suprafata de contact.



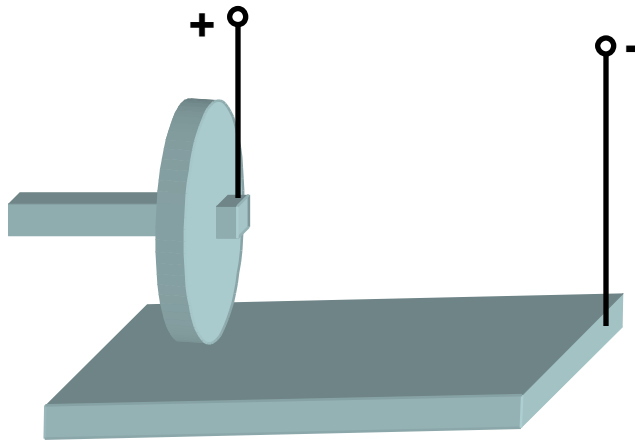
Strunjirea (la prelucrarea otelurilor
inoxidabile, refractare sau greu
prelucrabile)



Netezirea, se realizeaza prin deformarea asperitatilor incalzite sub presiunea sculei



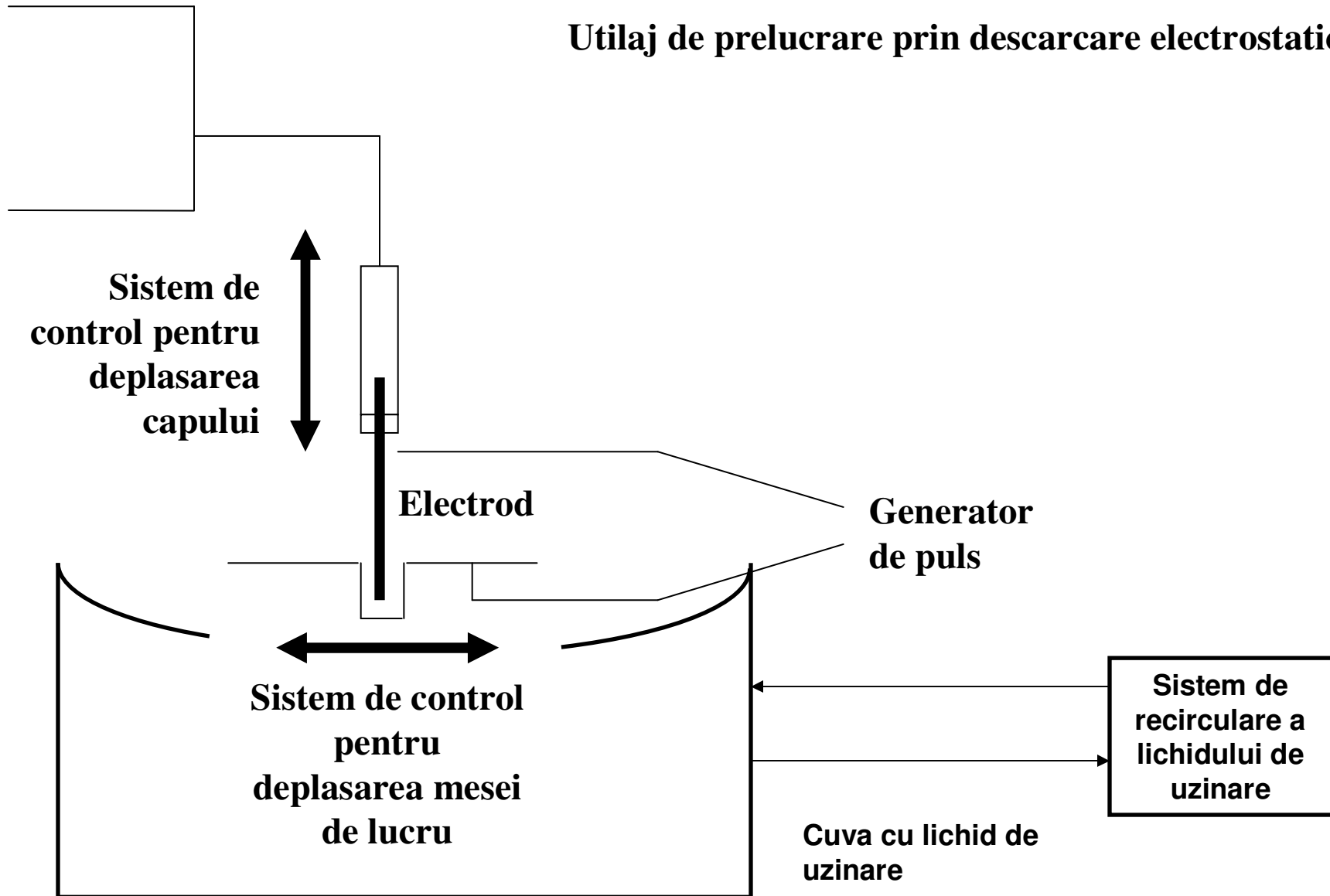
Ascutirea sculelor aschiatoare, asigura economie la materialul abraziv.



Rectificarea suprafetelor plane sau profilate

- Se utilizeaza discuri metalice
- Se lucreaza la viteze periferice mari(10-50 m/s)
- Consum de energie redus (1.4...1.8 kWh/kg)

Utilaj de prelucrare prin descarcare electrostatica



II. PRELUCRARE ELECTROCHIMICA

□ Reprezinta un proces complex compus din actiunea electrochimica, electroeroziva si mecanica, exercitata de agentul chimic, curentul electric si electrodul-scula asupra materialului piesei.

□ Se bazeaza pe aplicarea fenomenelor de electroliza provocate de trecerea curentului electric printr-o baie ce contine o solutie apoasa de saruri, producandu-se **trecerea in solutie a materialului anodului** si respectiv **depunere la catod**.



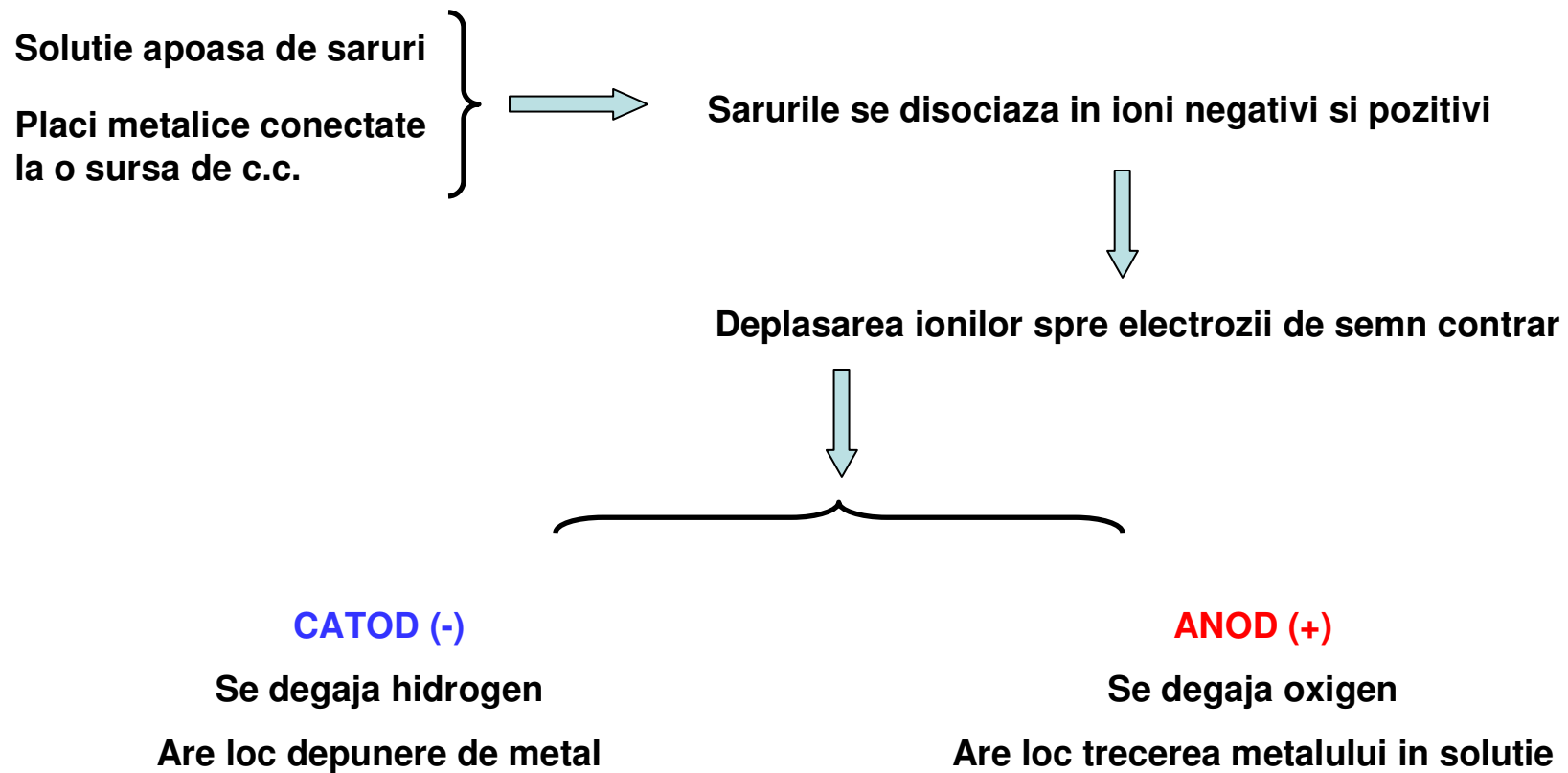
Se foloseste pentru prelucrarea electrochimica (piesa de prelucrat reprezinta anodul)



Se foloseste pentru depunerile galvanice (piesa de acoperit este la catod)

□ Fenomenul de eroziune electrochimica nu este influentat de duritatea materialului.

□ Se utilizeaza la prelucrarea unor piese din oteluri refractare, inoxidabile, carburi metalice, etc.



PROBLEME:

❑ Degajare de hidrogen si vapori de saruri, care sunt substante nocive.

❑ Formarea unui strat de compusi neutri (pelicula pasiva), la anod, care face dificil contactul metalului cu solutia.

Trebuie evacuate fortat

Trebuie indepartat acest strat printr-un procedeu denumit depasivare

Depasivare hidrodinamica

Stratul este indepartat prin circulatia fortata a electrolitului sub presiune

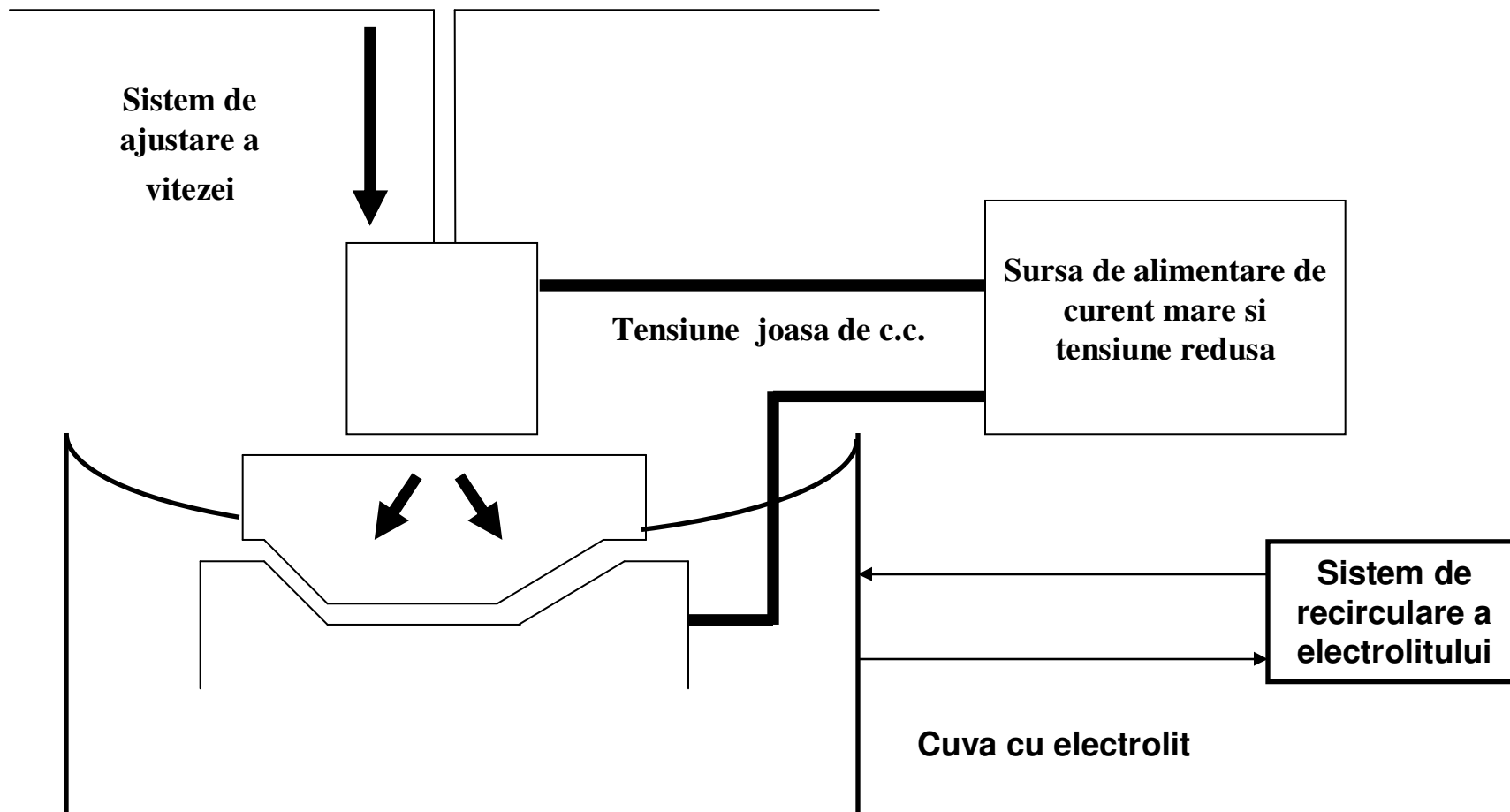
Depasivare naturala

Stratul este indepartat prin degajare de gaze sau prin dizolvare in electrolit

Depasivare abraziva

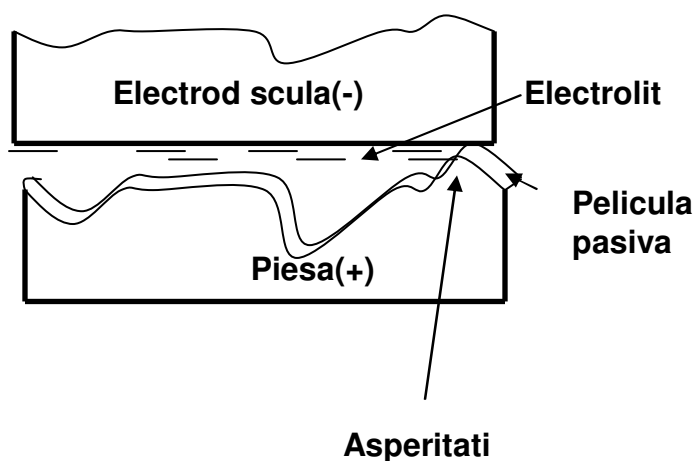
Stratul este indepartat prin combinarea procesului de eroziune electrochimica cu actiunea de depasivizare fortata pe cale mecanica, cu ajutorul unei scule abrazive

Utilaj de prelucrare prin electrocoroziune



III. EROZIUNEA COMPLEXA

□ Prelucrarea are loc prin actiunea simultana a dizolvarii anodice, a topirii materialului sub actiunea curentului electric si printr-o actiune de indepartare a particulelor dizlocate si de depasivare.



□ Factori ce influenteaza procesul:

- Factori electrici(curent, tensiune)
- Factori mecanici(viteza si presiune)
- Factori chimici(calitate, densitate I debit electrolit in zona de lucru)

IV. EROZIUNEA CU RADIATII

❑ **Reprezinta actiunea eroziva a unui fascicul de radiatii de mare energie, focalizat la locul de prelucrare.**

❑ **Utilizeaza diferite tipuri de lentile:**

➤ **Electrice**

➤ **Magnetice**

➤ **Electromagnetice**

➤ **Optice**



Pentru radiatii corpusculare



Pentru radiatii electromagnetice luminoase

❑ **Pot fi:**

➤ **Tip fascicul de fotoni (laser)**

➤ **Tip fascicul de electroni**

A. Prelucrarea cu laser

❑ Emisia laser: fascicul de radiatii electromagnetice cu urmatoarele proprietati specifice:

- **Directionalitate foarte buna**
- **Monocromaticitate deosebita**
- **Intensitate foarte mare**

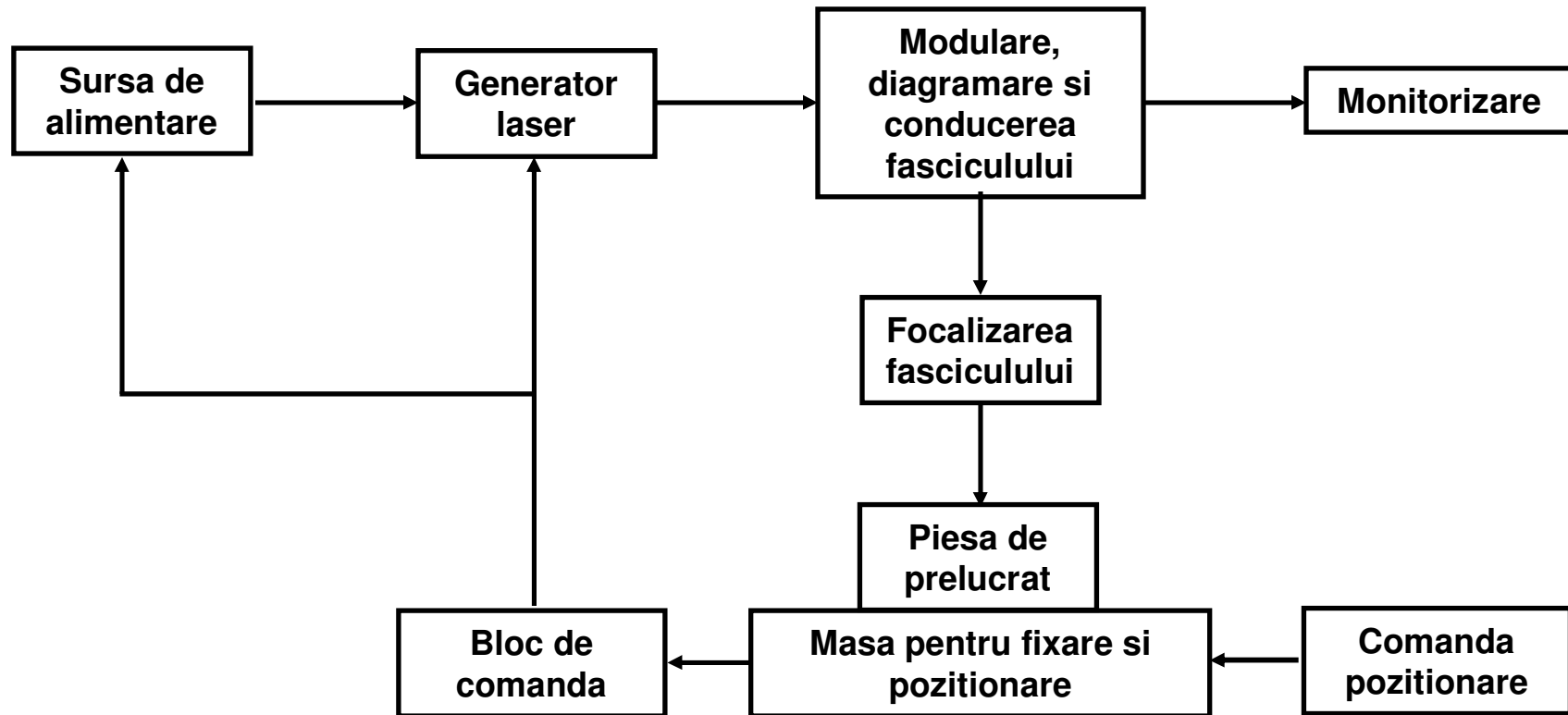
❑ Avantaje:

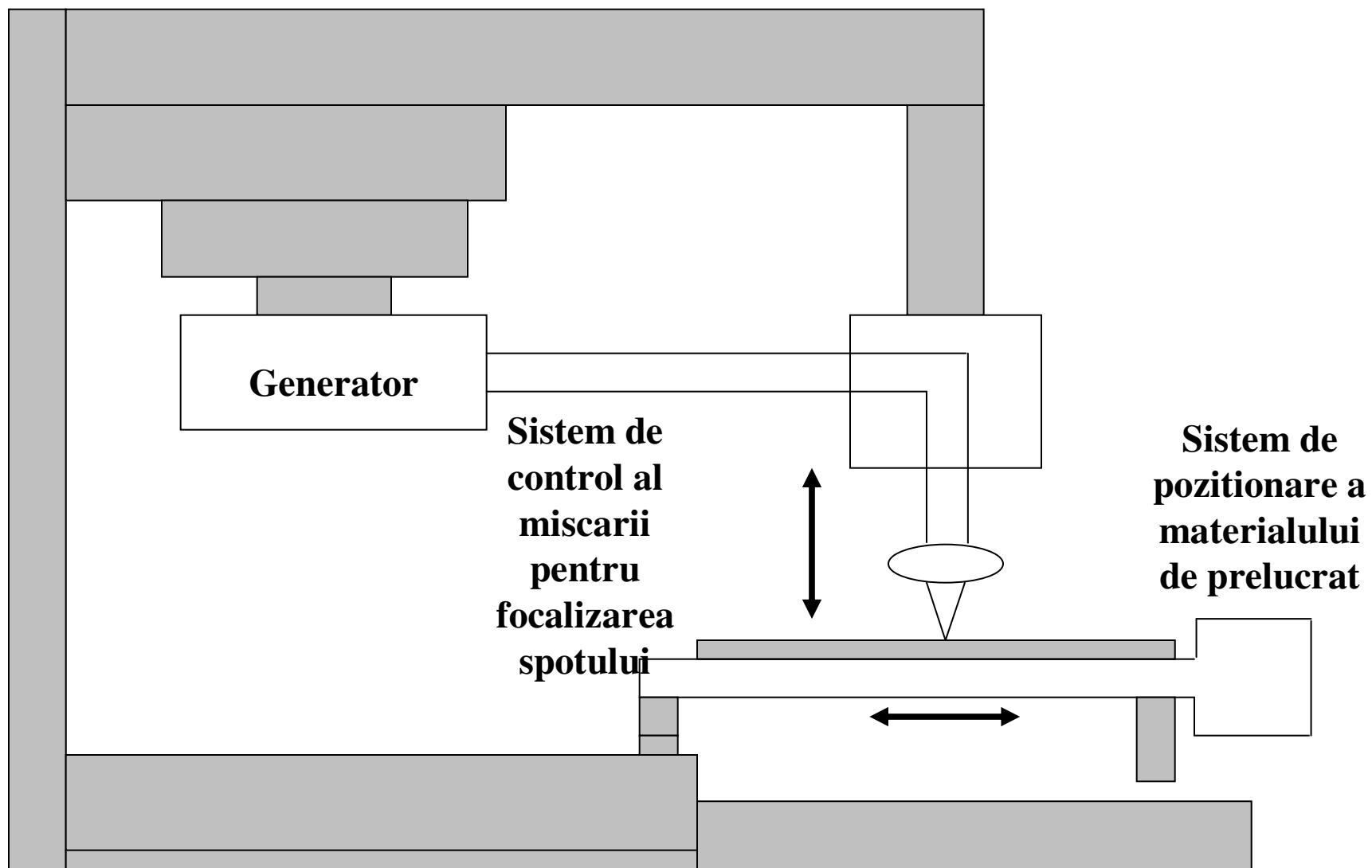
- **Posibilitatea de a prelucra orice material (metalic sau dielectric), indiferent de densitate;**
- **Proces de prelucrare aproape instantaneu;**
- **Deformatii termice si tensiuni interne foarte mici;**
- **Prelucrarea are loc fara contact mecanic scula-piesa;**
- **Precizie ridicata;**
- **Nu necesita atmosfera de lucru controlata si nici masuri de protectie-securitate deosebite.**

□ Situatii caracteristice:

- La densitati mai reduse de putere se produce incalzirea piesei pe o adancime ce depinde de constantele termofizice de material si de durata impulsului.
- La cresterea densitatii de putere la valori peste 10^5W/cm^2 apare topirea materialului la suprafata si incalzirea inspre interior.
- Pentru densitati mai mari de putere se produc vaporizarea la suprafata, topire si incalzire spre interior.
- La valorile mari ale densitatii de putere (10^{11}W/cm^2) se petrec vaporizarea, topirea si incalzirea materialului, iar vaporii sunt ionizati formandu-se plasma.

Schema de principiu a unei instalatii cu laser





□ Tratamente termice

➤ Tipuri

- * durificare superficiala,**
- * alieri de suprafata,**
- * calire superficiala,**
- * acoperiri de protectie,**
- * fixari de pelicule cu compozitie prestabilita**

➤ Caracteristici:

- * Temperatura de incalzire a materialului trebuie sa fie mai mica decat cea de topire**
- * Timpul de mentinere trebuie sa fie optim**



□ Sudarea cu laser

➤ Avantaje:

- * Influenta redusa a zonelor invecinate(sudura la folii si microfibre pe depuneri metalice realizate pe dielectrici, materiale magnetice).**
 - * Se pot suda materiale greu sudabile sau cu puncte de fuziune foarte diferite: otel-Al, Cu-Be, etc.**
 - * Vitezele de sudare pot ajunge la 120...140 m/s.**
 - * Se pot realiza suduri in incinte inchise sau greu accesibile.**
 - * Se pot executa suduri extrem de fine.**
 - * Se preteaza usor in procese automate.**
- Se poate realiza fie sudura cap la cap fie prin suprapunere.**
- Utilizeaza laseri cu fascicul continuu sau cu impulsuri.**

B. Prelucrarea cu fascicule de electroni

- ❑ Fasciculul de electroni emisi de catre un catod incalzit si accelerati intr-un generator numit tun electronic produce energie termica la impactul cu suprafata unui metal.

- ❑ Energia poate fi dirijata astfel incat sa produca incalzirea, topirea sau vaporizarea materialului.

- ❑ Procesul de prelucrare are loc intr-o incinta vidata.

- ❑ Gama de operatii tehnologice:
 - **Tratamente termice, $d < 10^4 \text{W/cm}^2$**

 - **Sudare si aliere superficiala, $10^4 \text{W/cm}^2 < d < 10^6 \text{W/cm}^2$**
 - ★ Se pot realiza suduri intre materiale refractare si greu fuzibile (titan, wolfram, tantal, zirconiu) si de dimensiuni foarte mici.

 - **Perforari, taieri, $d > 10^6 \text{W/cm}^2$**
 - ★ Permite realizarea de gauri adanci, retele de gauri de mici dimensiuni (0.05 mm) si taieri profilate ale foliilor greu fuzibile, ale filierelor pentru fibre de sticla, etc.

Tun electronic

