

Tehnologii de deformare plastică

se propun următoarele subiecte (concepte) de verificare a cunoștințelor;

1. Starea de tensionare și deformare a materialului
2. Forța, lucrul mecanic și puterea necesară în procesul de tăiere
3. Calitatea și precizia pieselor ștanțate
4. Definirea ștanțelor și a matrițelor
5. Tensiuni și deformații la îndoire. Dimensionarea semifabricatului

Starea de tensionare și deformare a materialului

Deformarea plastică constă în schimbarea formei și dimensiunilor semifabricatului metalic asupra căruia se acționează cu o sarcină exterioară care depășește limita de elasticitate a materialului respectiv fără a distruge integritatea sa structurală.

$$\frac{F}{A} = \sigma = E \cdot \varepsilon$$

unde: F - sarcina exterioară aplicată semifabricatului; A - aria semifabricatului în secțiune perpendiculară pe direcția de acțiune a forței; σ - tensiunea ce apare în semifabricatul supus deformării; E - modulul de elasticitate longitudinal; ε - deformația relativă obținută.

Totalitatea *tensiunilor care acționează în fiecare punct* al materialului supus deformării definesc starea sa de tensionare. În funcție de numărul tensiunilor principale care sunt diferite de zero, o stare de tensionare poate fi: spațială, plană sau liniară. În funcție de semnul pe care îl au tensiunile principale, schemele stărilor de tensiuni pot fi: cu tensiuni de același semn (pozitiv sau negativ), respectiv cu tensiuni cu semne diferite.

Schemă	Liniară		Plană			Spațială			
Simbol schemă	L_1	L_2	P_1	P_2	P_3	S_1	S_2	S_3	S_4
σ_1	-	+	-	-	+	-	-	-	+
σ_2	0	0	-	+	+	-	-	+	+
σ_3	0	0	0	0	0	-	+	+	+
Reprezentare grafică a schemei de tensionare									

Deformațiile pe care le suferă materialul pot fi *liniare* (lungiri sau scurtări), respectiv *unghiulare*. Dacă axele de coordonate rectangulare se orientează în așa fel încât deformațiile unghiulare să fie nule obținem axele principale de deformare, iar deformațiile care apar în lungul acestor axe poartă denumirea de deformații principale.

Deformația principală absolută	Deformația principală relativă	Deformația principală reală:
$dl = l - l_0$ l_0 - lungimea inițială l - lungimea finală	$\varepsilon = \frac{dl}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$	$e = \int_{l_0}^l \frac{dl_x}{l_x} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon)$

Relația de legătură între deformațiile principale reale se găsește considerând că deformarea plastică se produce la volum constant: $a_0 \cdot b_0 \cdot l_0 = a \cdot b \cdot l$

unde: a_0, b_0, l_0 – dimensiunile inițiale ale paralelipipedului supus deformării
 a, b, l – dimensiunile după deformare

Logaritmand expresia de mai sus se obține: $\ln \frac{l}{l_0} + \ln \frac{b}{b_0} + \ln \frac{a}{a_0} = e_1 + e_2 + e_3 = 0$

Schemă	Plană	Spațială	
Simbol schemă	P ₁	S ₁	S ₂
ε_1	-	+	-
ε_2	+	-	+
ε_3	0	-	+
Reprezentare grafică a schemei de deformare			

Concluzie: Suma celor trei deformări principale reale este egală cu zero. Deformarea numai *după o singură direcție* și deformarea *triaxială de același sens nu este posibilă*.

Pentru precizarea completă a deformării ar fi nevoie să se cunoască toate cele trei deformări principale reale. În practică însă, pentru simplificare, se indică doar **deformația principală reală maximă**, denumită și **grad de deformare**.

Forța, lucrul mecanic și puterea necesare în

procesul de tăiere

a) **Relația de calcul a forței totale** care acționează pe un contur de tăiere este:

$$F_{tc} = F + F_i + F_d + F_{ind} \text{ [N]}$$

unde: F – forța de tăiere propriu-zisă; F_i – forța de împingere a materialului prin orificiul plăcii active; F_d – forța de desprindere a materialului de pe poanson; F_{ind} – forța de îndoire a materialului

În cazul sculelor cu muchii tăietoare paralele materialul este atacat de muchiile tăietoare pe întreaga lungime a conturului de tăiere, în același timp.

Forța de tăiere propriu-zisă: $F = k \cdot L \cdot g \cdot \tau_f \text{ [N]}$

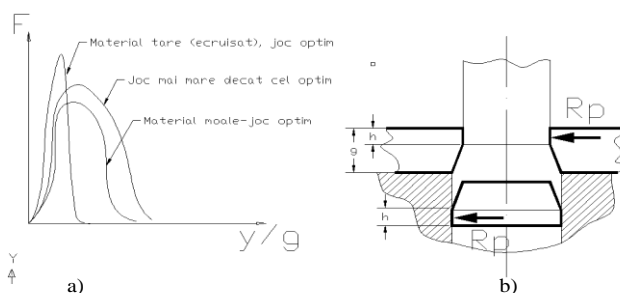
unde: $k = 1,1 \dots 1,3$ este un coeficient de acoperire care ține cont de uzura muchiilor, neuniformitatea jocului, etc.

L - lungimea conturului de tăiere; g - grosimea semifabricatului; τ_f - rezistența la forfecare a semifabricatului.

În particular pentru prelucrarea tablelor din oțel se poate aproxima: $\tau_f = (0,75 \dots 0,90) R_m$ caz în care relația forței devine: $F = L \cdot g \cdot R_m \text{ [N]}$

În timpul pătrunderii relative y/g a muchiei tăietoare a poansonului în material, forța de tăiere este variabilă de la 0 la forța maximă, fiind dependentă de natura materialului, starea de ecruisare și de jocul tehnologic dintre elementele active:

- pentru materiale moi este mai redusă și maximul apare la o pătrundere relativă mai mare;
- pentru materiale tari este mai mare și apare la o pătrundere relativă mică;
- în cazul jocului diferit de cel optim forța de tăiere crește.



Forța de împingere F_i , este o forță de frecare a materialului împins de către poanson prin orificiile active din placa de tăiere în faza deformărilor plastice. Conform cu schema de calcul din figura b, se aproximează presiunea maximă pe centura plăcii de tăiere la valoarea limitei de curgere a materialului R_{p02} pentru o pătrundere relativă medie de 30% din grosimea semifabricatului. Matematic aceasta se exprimă prin: $F_i = L \cdot h \cdot R_{p02} \cdot \mu \text{ [N]}$

Pentru o valoare a coeficientului de frecare $\mu=0,2$ și aproximând $R_{p02} = \tau_f$, rezultă:

$$F_i = 0,06 \cdot L \cdot g \cdot \tau_f = 0,06 \cdot F \text{ [N]}$$

Sub forma generală, forța de împingere are expresia: $F_i = k_i \cdot F \text{ [N]}$

Valoarea coeficientului forței de împingere variază între $0,01 \dots 0,07$ în funcție de grosimea și natura materialului ștanțat. În cazul plăcilor de tăiere având centura $h_c = 5 \dots 10 \text{ mm}$, forța de împingere

trebuie majorată cu numărul de piese n acumulat în centură, respectiv h_c/g : $F_{it} = n \cdot F_i = \frac{h_c}{g} \cdot F_i$

[N]

Forța de desprindere F_d , a materialului de pe poansoane se deduce în mod similar și are valoarea:

$$F_d = k_d \cdot F \text{ [N]}, \text{ unde: } k_d = 0,05 \dots 0,11$$

Calculul forței de desprindere este important pentru dimensionarea corespunzătoare a arcurilor care acționează placa de desprindere mobilă, în cazul ștanțelor care au o astfel de construcție.

Forța de îndoire F_{ind} a materialului are valoarea: $F_{ind} = k_{ind} \cdot F$ [N],

unde: $k_{ind} = 0,05\varphi$ (φ – unghiul de înclinare a muchiei tăietoare).

b) Lucrul mecanic: $L = \lambda \frac{F_{tot} \cdot g}{1000}$ [J], unde: $\lambda = 0,6 \dots 0,65$ - coeficientul forței medii; g - grosimea semif. [mm].

c) Puterea redusă la arborele motorului de acționare: $P = a_0 \cdot \frac{L \cdot n_{cd}}{\eta \cdot 60 \cdot 1000}$ [kW],

unde: $a_0 = 1,2 \dots 1,4$ - coeficientul de neuniformitate al mișcării volantului; L – lucrul mecanic; $\eta = 0,65$ - randamentul global al presei; N_{cd} - cadența nominală a presei, [min^{-1}].

Calitatea și precizia pieselor ștanțate

1. Condițiile de calitate se referă la obținerea unor *suprafețe de forfecare fără bavuri și stratificări*, respectiv *menținerea planeității piesei decupate sau perforate*. Piese decupate și perforate prin ștanțare obișnuită se încadrează în clasa 9-11 de precizie.

Factorii principali care influențează calitatea pieselor decupate și perforate sunt:

a) Influența naturii materialului

La operații de prelucrare prin tăiere se recomandă utilizarea unor *materiale cu rezistență la rupere mare și alungire relativă la rupere mică*, în caz contrar (materiale cu plasticitate ridicată) există riscul apariției de bavuri în lungul conturului de tăiere chiar și în condițiile în care elementele active nu prezintă uzură iar tăierea se realizează cu joc optim între muchiile active ale sculei.

b) Influența mărimii jocului dintre elementele active

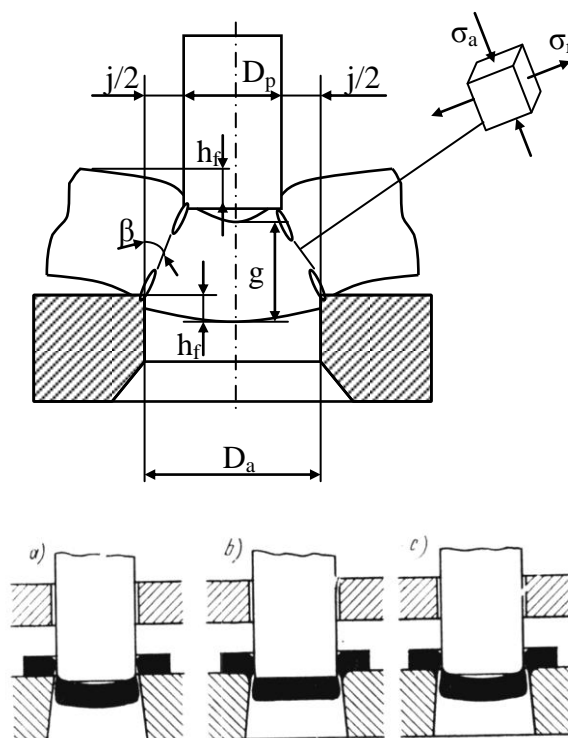
Tăierea are loc sub acțiunea perechii de muchii tăietoare ale poansonului și a plăcii active. Se numește joc diferența dintre dimensiunile părților active ale plăcii active și ale poansonului: $j = D_a - D_p$. *Jocul optim* (j_{opt}) reprezintă mărimea jocului dintre poanson și orificiul din placa activă pentru care planele de forfecare, pornind de la muchiile elementelor active, coincid. Jocul optim depinde de natura materialului prelucrat și de grosimea semifabricatului. Defectele care apar dacă jocurile diferă sensibil de cele optime sunt de apariție a canalelor de ruptură la *jocuri prea mici* și de apariție a unei bavuri pronunțate pe marginea orificiului ștanțat și încovoierea piesei pentru *jocuri prea mari*.

c) Influența uzurii muchiilor active

În cazul tăierii materialelor subțiri uzura muchiilor tăietoare se resimte puternic provocând apariția de bavuri pe piesa decupată în cazul uzurii poansonului și respectiv pe orificiul perforat la uzura plăcii active. În cazul tăierii materialelor relativ groase, o mică rotunjire a muchiilor tăietoare datorită uzurii nu influențează sensibil calitatea tăieturii în schimb favorizează durabilitatea sculei.

d) Influența sculei și a vitezei de ștanțare

În cazul ștanțelor cu placă de ghidare, respectiv cu placă de desprindere fixă, semifabricatul, nefiind fixat în timpul tăierii, suferă încovoieri mai mari, respectiv precizia dimensională a piesei decupate este mai scăzută. În cazul ștanțelor cu placă de desprindere mobilă acționată prin elemente elastice



se obțin precizii superioare. Viteza de ștanțare influențează grosimea stratului ecruisat precum și mărimile zonelor corespunzătoare deformațiilor plastice (h_f) respectiv fazei de forfecare.

2. Precizia dimensională a pieselor perforate și decupate

Teoretic, dimensiunea piesei decupate rezultă după dimensiunea orificiului din placa activă iar dimensiunea orificiului perforat rezultă după dimensiunea poansonului. În realitate, ca urmare a existenței deformațiilor elastice precum și a încovoierii elasto-plastice a materialului, la terminarea operației se înregistrează în general creșterea dimensiunii piesei decupate și scăderea dimensiunii orificiului perforat în raport cu dimensiunea elementului activ ce determină dimensiunile piesei și a orificiului.

Principalii factori care influențează arcuirea elastică și precizia dimensională a piesei decupate sunt: jocul dintre elementele active; natura și grosimea materialului; forma și dimensiunea pieselor ștanțate.

Definirea ștanțelor și matrițelor

Ștanțele și matrițele sunt scule specifice prelucrărilor prin presare. Ștanțele servesc la prelucrarea semifabricatelor subțiri (derivate din tablă), efectuând tăieri și/sau deformări plastice ale acestora. Matrițele servesc la prelucrarea prin deformare plastică. Principalele criterii de clasificare ale ștanțelor și matrițelor sunt cele pe considerente tehnologice, respectiv constructive.

Considerentele tehnologice precizează felul și combinarea prelucrărilor pe care le execută scula. Se disting sub acest raport:

- **ștanțe (matrițe) simple**, care execută o singură deformare de un anumit gen (de ex: ștanță de perforat, ștanță de decupat, matriță de îndoit, matriță de ambutisare, matriță de extrudare, etc.);
- **ștanțe (matrițe) combinate**, care execută mai multe deformări. Utilizate preferențial la fabricația în serie mare a pieselor complexe ele realizează piesele în baza unei singure sau a unui număr redus de operații. Sculele combinate pot fi cu:
 - acțiune succesivă
 - acțiune simultană.

Scula cu acțiune succesivă dispune de mai multe posturi de lucru în fiecare dintre acestea executându-se câte o deformare din seria prelucrărilor cerute de realizarea piesei. Semifabricatul aferent unei piese date, în acest caz, necesită să fie translatat după fiecare cursă dublă a preseii, dintr-un post de lucru în cel următor. **Scula cu acțiune simultană** dispune de un singur post de lucru în care sunt concentrate elementele active ce servesc pentru toate deformările cerute de execuția piesei complexe.

Denumirea ștanțelor se precizează indicând prelucrările pe care acestea le efectuează cu asocierea modului de acțiune al sculei combinate (de ex: ștanță cu acțiune succesivă de perforat și decupat; ștanță cu acțiune simultană de decupat și ambutisat, etc.).

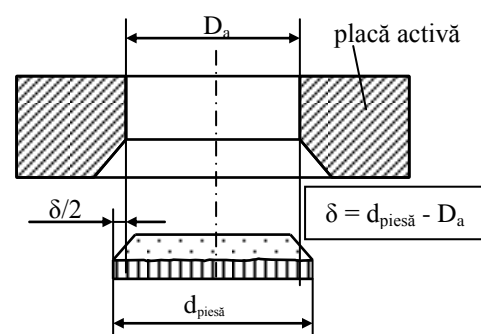
Considerentul constructiv ține seamă de modul în care se asigură ghidarea mișcării subansamblului superior al sculei în raport cu subansamblul inferior al acesteia. Se disting scule:

- fără elemente proprii de ghidare,
- cu elemente proprii de ghidare.

La **sculele fără elemente proprii de ghidare** mișcarea părții superioare a sculei este condusă numai prin berbec, respectiv ghidajele preseii, ea fiind de precizie mai redusă.

Sculele cu elemente proprii de ghidare dispun de componente constructive ale sculei care asigură precizie superioară acestei mișcări. Sculele cu elemente proprii de ghidare pot fi cu:

- placă de ghidare

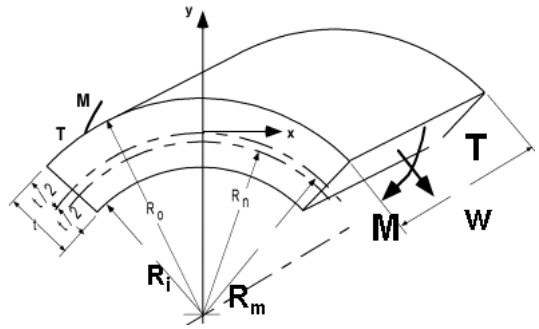


- coloane de ghidare și placă de desprindere-mobilă
- coloane de ghidare și fixator mobil din poliuretan
- ghidaje combinate.

Tensiuni și deformații la îndoire. Dimensionarea semifabricatului

Îndoirea este una dintre cele mai răspândite prelucrări de matrițare a semifabricatelor subțiri. Procesul se realizează prin încovoierea materialului în jurul unei axe numite linie de îndoire. Tensionarea materialului este complexă și constă în:

- pe stratul interior al semifabricatului pe porțiunea cuprinsă de unghiul de îndoire apar tensiuni unitare *de compresiune*, respectiv pe cel exterior, *de întindere*.
- în cazul lățimilor uzuale relative mari ($\frac{W}{t} \geq 3$) piesa suferă deformări neglijabile ale secțiunii transversale și apar și tensiuni normale de compresiune corespunzător stratului interior, respectiv de întindere pentru cel exterior, ca urmare a deformării la volum constant.



OBSERVAȚIE: în aripile pieselor îndoite pe matrițe de îndoire practic starea de tensionare este nulă dacă nu se exercită presiune de calibrare (*îndoire liberă*).

Între stratul interior și cel exterior există un strat în care tensiunea din material este nulă, strat numit '*neutru*'. Datorită efectului de ecruisare în cazul îndoirii la rece stratul neutru nu corespunde cu stratul mijlociu ci se deplasează spre interior pentru raze relative mici: $\frac{r}{g_0} \leq 5$. Raza acestui strat se

determină în funcție de raza interioară de îndoire și de *coeficientul de deplasare a stratului neutru* $\chi = f(\frac{r}{g_0})$ (**K-factor**): $\rho = r_i + \chi \cdot g$

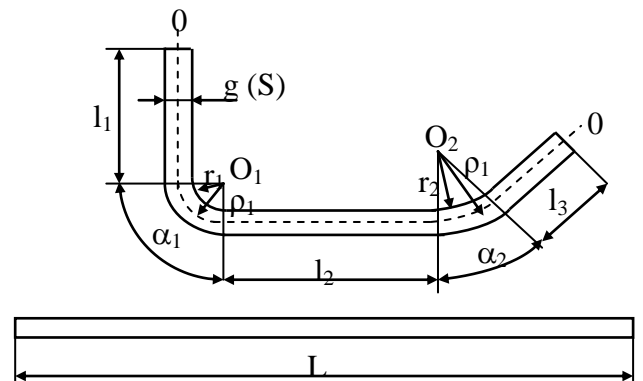
Determinarea dimensiunilor semifabricatului

Dimensiunile semifabricatului plat L (desfășurata piesei îndoite) se determină prin calculul lungimii stratului neutru (0-0), aplicând relația de mai jos:

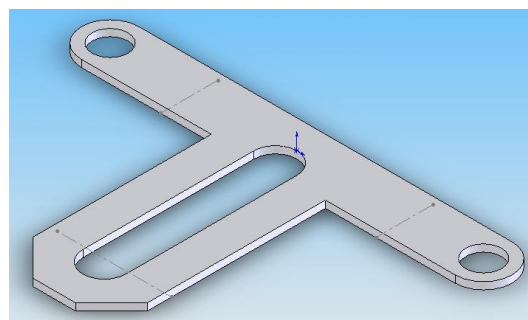
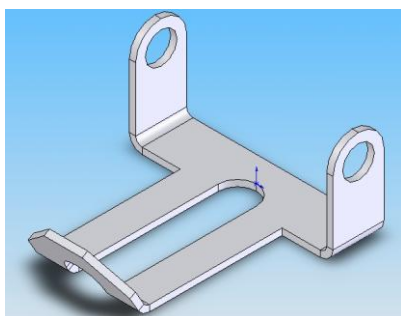
$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\pi \cdot \alpha_i}{180} (r_i + \chi_i \cdot g)$$

unde:

l_i , reprezintă lungimile aripilor rectilinii [mm],
 α_i , reprezintă unghiurile de îndoire [°]



OBSERVAȚIE: mediile de proiectare asistată CAD conțin opțiuni 'Sheet Metal' care permit realizarea conceptuală a modelului solid 3D ținând cont de principiul determinării lungimilor pe stratul neutru.



Bibliografie:

Rosinger S., Iclănzan T., Tehnologia presării la rece, Litografia UPT, Timișoara, 1989

Rosinger S., Procese și scule de presare la rece, Culegere de date pentru proiectare, Editura Facla, Timișoara, 1987.

Ciocârdia C, ș.a., Tehnologia presării la rece, EDP, București, 1991

Conf. dr. ing. Tulcan Aurel