

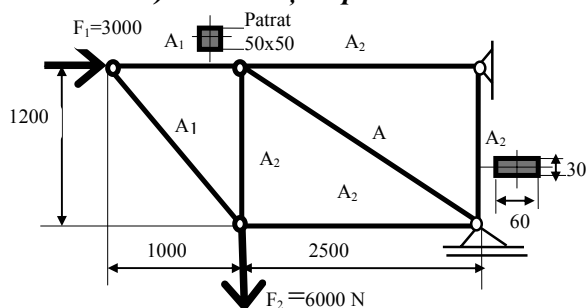
Subiecte sinteză

Metoda elementelor finite

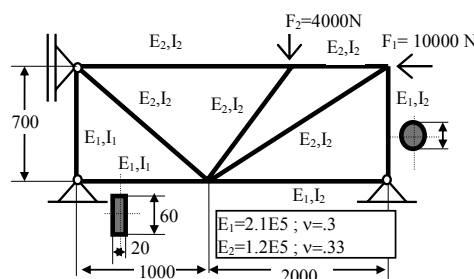
Subiectul 1.

Pentru structurile prezentate în Fig. 1, Fig. 2, în vederea analizei cu elemente finite a stării de tensiune și deformație, se cere să se precizeze:

- a) tipurile de elemente finite recomandate a se utiliza în discretizarea structurii;*
- b) care sunt regulile de discretizare în vederea realizării unei discretizări optime;*
- c) care sunt constantele reale care se asociază acestor elemente finite;*
- d) ce condițiile pe contur sunt necesare a se aplica asupra modelului de calcul.*



Material: OL ; $E_X = 2.1E5$, $\nu_{UXY} = .3$



Structura are nodurile rigide

RĂSPUNS: Fig. 1

Fig. 2

Fig. 1;

- a) Se recomandă utilizarea elementelor finite de tip bară cu articulații la capete, în plan, (TRUSS2D).
- b) Fiecărei bare din componența structurii i se asociază câte un singur element finit (în cazul discretizării în două sau mai multe elemente structura devine mecanism și nu poate fi analizată din punct de vedere static).
- c) Pentru calculul stării de tensiune și deformație se asociază o singură constantă reală, fiecărui element finit și anume este vorba despre mărimea ariei secțiunii transversale a barei.
- d) Se aplică forțele concentrate F_1 și F_2 și reazemul fix și reazemul mobil.

Fig. 2

- a) Se utilizează elemente finite de tip bară cu noduri rigide în plan, (BEAM2D).
- b) Fiecărei bare din componența structurii i se poate asocia orice un număr de elemente finite, în funcție de platforma de calcul de care se dispune.
- c) Pentru calculul stării de tensiune și deformație se asociază minimum trei constante reale, fiecărui element finit și anume este vorba despre mărimea ariei secțiunii transversale a barei, momentul de inerție în raport cu axa perpendiculară pe planul structurii și înălțimea secțiunii transversale în raport cu axa de încovoiere.
- d) Se aplică forțele concentrate F_1 și F_2 , două reazeme fixe și un reazem mobil.

Subiectul 2.

Pentru structurile prezentate în Fig. 3, Fig. 4, în vederea analizei cu elemente finite a stării de tensiune și deformație, se cere să se precizeze:

- a) tipurile de elemente finite recomandate a se utiliza în discretizarea structurii;
- b) care sunt regulile de discretizare în vederea realizării unei discretizări optime;
- c) care sunt constantele reale care se asociază acestor elemente finite;
- d) ce condițiile pe contur sunt necesare a se aplica asupra modelului de calcul.

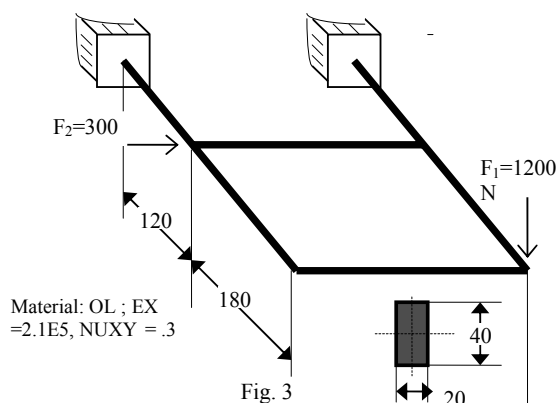


Fig. 3

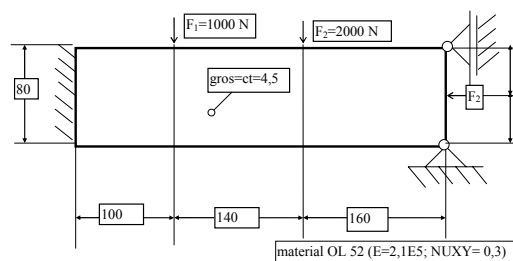


Fig. 4

RĂSPUNS:

Fig.3

- Se utilizează elemente finite de tip bară cu noduri rigide în spațiu, (BEAM3D).
- Fiecărei bare din componența structurii i se poate asocia orice număr de elemente finite, în funcție de platforma de calcul de care se dispune.
- Pentru calculul stării de tensiune și deformăție se asociază minim șase constante reale fiecărui element finit și anume: mărimea ariei secțiunii transversale a barei, momentele de inerție axiale, un moment de inerție polar, dimensiunile secțiunii transversale în raport cu axele de încovoiere.
- Se aplică forța concentrată F_1 și două încastrări.

Fig.4

- Se utilizează elemente finite de stare plană de tensiune (PLANE2D sau TRIANG).
- Se va realiza o discretizare uniformă, întrucât nu avem concentratori de tensiune. Nu este necesară folosirea unui număr mare de elemente finite în discretizarea optimă.
- Pentru calculul stării de tensiune și deformăție se asociază câte o singură constantă reală fiecărui element finit și anume grosimea plăcii
- Se aplică forțele concentrate F_1 și F_2 și reazemul fix și reazemul mobil.

Subiectul 3.

Pentru structurile prezentate în Fig. 5, Fig.6, în vederea analizei cu elemente finite a stării de tensiune și deformăție, se cere să se precizeze:

- tipurile de element finite recomandate a se utiliza în discretizarea structurii;
- care sunt regulile de discretizare în vederea realizării unei discretizări optime;
- care sunt constantele reale care se asociază acestor elemente finite;
- ce condițiile pe contur sunt necesare a se aplica asupra modelului de calcul.

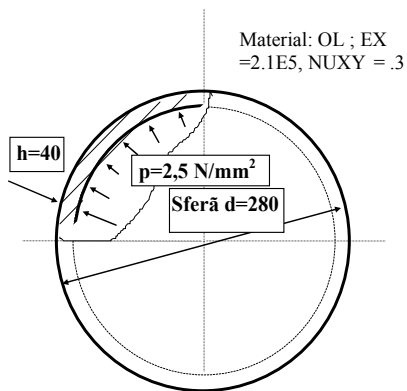


Fig. 5

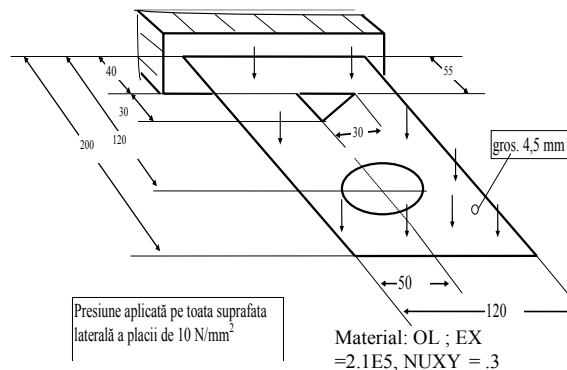


Fig. 6

RĂSPUNS:

Fig.5

- Trebuie remarcată simetria axial simetrică pentru structură și modul de încărcare. Se utilizează elemente finite de axial simetric. Se pot folosi elemente de stare plană de tensiune (PLANE2D) cu precizarea opțiunii de axial simetrie.
- Se va realiza o discretizare uniformă, întrucât nu avem concentratori de tensiune. Nu este necesară folosirea unui număr mare de elemente finite în realizarea unei discretizări optime.
- Pentru calculul stării de tensiune și deformație se asociază o singură constantă reală, egală cu 1, reprezentând deschiderea la centru de un radian a unui element finit.
- Se aplică o sarcină uniform distribuită pe peretele interior al sferei egală cu presiunea din interiorul sferei. Pe axele de simetrie se declară proprietățile de simetrie corespunzătoare.

Fig.6

- Structura reprezintă o placă supusă la încovoiere caz în care se folosesc elemente finite de tip înveliș (SHELL).
- Se va realiza o discretizare neuniformă cu o discretizare mai fină în zona concentratorilor de tensiune.
- Pentru calculul stării de tensiune și deformație se asociază o singură constantă reală egală cu grosimea plăcii.
- Se aplică o sarcină uniform distribuită pe peretele superior al plăcii egală cu presiunea de 10 MPa și blocajul tuturor componentelor deplasărilor pe latura cu încastrare.

Subiectul 4.

Să se prezinte sintetic elementele finite de tip masiv (SOLID, BRICK) și înveliș (SHELL) cu domeniile lor de aplicabilitate, evidențiindu-se avantajele și dezavantajele utilizării lor în elaborarea modelelor de calcul.

RĂSPUNS:

Elementul finit de tip masiv, Fig.1. cunoscut în bibliotecile de elemente finite a pachetelor de programe profesionale sub denumirea de SOLID sau BRICK este un element tridimensional cu 8 până la 20 de noduri, destinat analizelor de problemele structurale și termice. Are câte trei grade de libertate translaționale pe nod pentru analiza structurală. Un singur grad de libertate pe nod, reprezentând temperatura, este folosit în modulul termic. Pot avea forme tetraedrice, pentaedrice, sau hexaedrice.

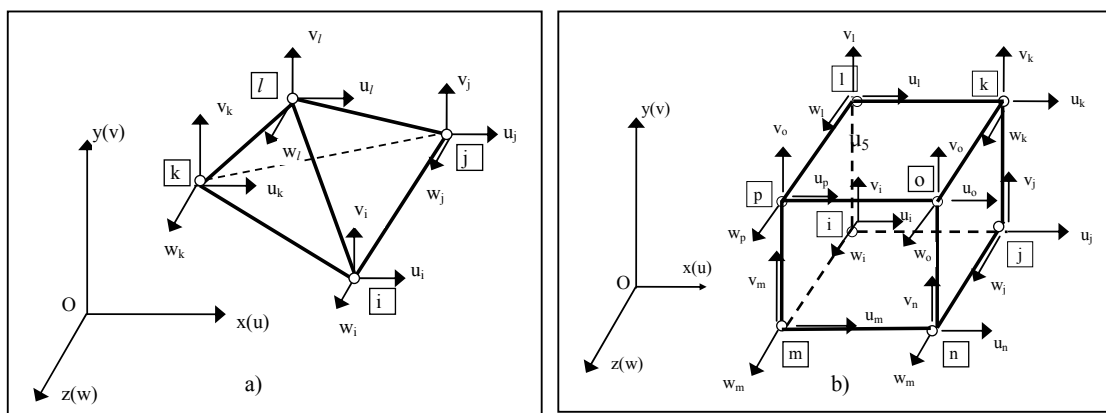


Fig. 1. Element finit de tip solid, a) Element finit tetraedric liniar, b) Element finit hexaedric liniar

În cazul utilizării unor polinoame de interpolare de gradul doi pentru deplasările nodale u, v, w , la mijlocul laturilor mai apare un nod suplimentar. În consecință elementul finit pătratic tetraedric are 10 noduri, iar elementul finit pătratic hexaedric are 20 de noduri.

Elementele finite care folosesc funcții de interpolare de gradul 2, poartă denumirea de elemente finite pătratice, sau elemente finite de ordin înalt, (high element).

Elementele finite care au ca și grade de libertate deplasările liniare din noduri, fac parte din *categoria elementelor finite de tip continuu*. Evident numărul gradelor de libertate pe nod se stabilesc, la definirea elementelor finite, de așa manieră încât să se asigure continuitatea mărimilor care descriu fenomenul studiat atât pe domeniile elementelor finite cât și la nivelul zonelor interelemente.

Discretizarea se va face de așa manieră încât să se evite apariția unor *elemente distorsionate*. Elementele finite nedistorsionate îndeplinesc următoarele condiții:

- rapoartele dintre lungimile laturilor este apropiat de 1;
- unghiurile adiacente să fie mai mari de 45^0 și mai mici de 135^0 .

În aceste condiții se poate afirma că *domeniul lor de aplicabilitate* este cel mai general posibil, fiind aplicabile pentru orice tip de structură, indiferent de dimensiuni și configurații ale geometriei sau condițiilor pe contur. Acesta este principalul *avantaj* al acestui tip de element finit.

Dezavantajele sunt legate numărul mare elemente finite necesar unei discretizări optime și implicit a unui număr mare de elemente finite, deci a unui număr mare de grade de libertate la nivelul întregii structuri. Aceasta înseamnă că volumul de calcul este mare, iar discretizarea trebuie realizată în funcție de performanțele platformei de calcul de care dispunem.

Elementul finit de tip înveliș, Fig. 2. este un element finit destinat structurilor de tip înveliș fiind capabil să preia momente încovoietoare și efecte de membrană și poate fi folosit în analize tridimensionale structurale și modele termice. Efectul de deformare prin forfecare este neglijat. Se poate utiliza și pentru flambaj sau stare plană. În cazul analizelor structurale sunt considerate șase grade de libertate pe nod (trei translații și trei rotații). Acest element este cunoscut în bibliotecile de elemente finite a pachetelor de programe profesionale sub denumirea de SHELL și poate fi triunghiular sau patrulater. Din acest motiv va purta denumirea de SHELL3 sau SHELL4. În formularea modelelor termice elementele SHELL au un singur grad de libertate, reprezentând temperatura. Elementul este considerat izotrop cu grosime constantă pentru problemele structurale și ortotrop pentru probleme termice.

Elementul finit SHELL modelează structuri tridimensionale de plăci plane sau curbe. A treia dimensiune, grosimea elementului finit, este constată pe domeniul său, se asociază acestuia ca o constată reală, iar reprezentarea elementului finit este una bidimensională. De aici se poate trage concluzia că elementul finit de tip înveliș reduce cu o unitate dimensiunea problemei ceea ce constituie un prim *avantaj* al utilizării lor.

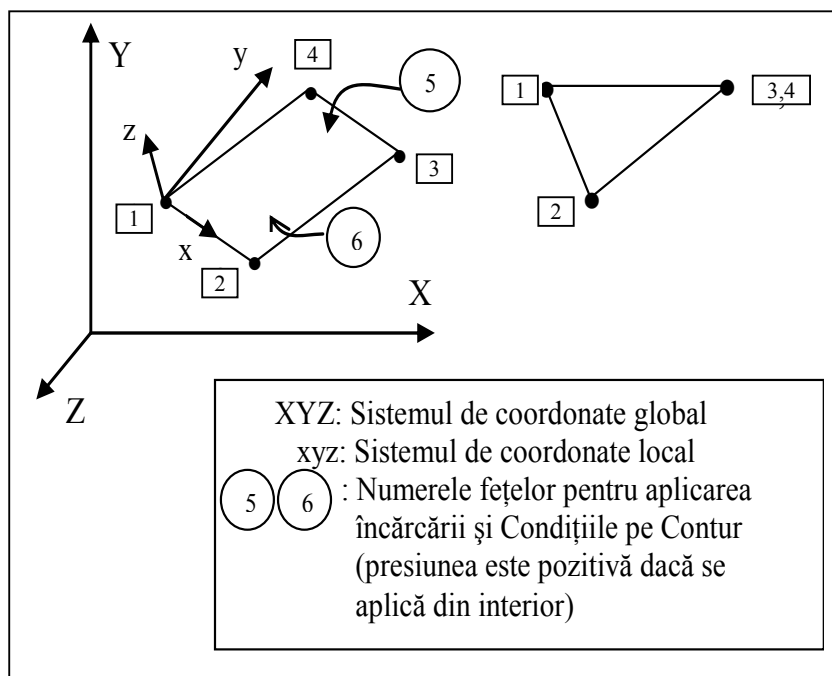


Fig. 2. Element finit de tip înveliș

Se pot utiliza pentru materiale cu structură ortotropă denumite elemente de tip SHELL4L, (pentru elementele finite de tip patrulater).

Pentru probleme care implică plăci sau învelișuri groase este recomandată folosirea elementelor de tip înveliș groase cunoscute sub denumirea SHELL4T. Ambele tipuri de elemente SHELL4T și SHELL4L au date de intrare identice și pot fi schimbate între ele doar modificând numele tipului de element.

Elementele finite de tip înveliș fac parte din așa numita *categorie de elemente scheletice*. Elementele scheletice folosesc pe lângă deplasările liniare u , v , w , și deplasările unghiulare ale nodurilor, r_x , r_y , r_z , ca o consecință a necesității asigurării continuității mărimilor necunoscute atât pe domeniul elementului cât și la nivelul zonelor interelement.

Discretizarea trebuie să conducă la elemente *finite nedistorsionate*. Elementele finite nedistorsionate trebuie să îndeplinească aceleași condiții cu cele prezentate la elementul finit de tip masiv.

Domeniul lor de aplicabilitate este foarte larg datorită multiplelor *avantaje* oferite de modele simple de calcul, cu un număr mic de elemente finite și deci și un număr mic de grade libertate la nivelul întregii structuri, comparativ cu modelele de calcul care pentru aceeași structură folosesc elemente finite de tip masiv.

Dezavantajele sunt date de imposibilitatea cunoașterii în detaliu a variației tensiunilor respectiv deformațiile specifice pe grosimea elementului finit. Din aceste considerente *aplicabilitatea* lor este limitată la structurile de tip înveliș (exemplu: carcase, structuri de tip plăci plane sau curbe).

Comparând cele două categorii de elemente finite, care de altfel reprezintă elementele finite cel mai frecvent utilizate în analizele structurale, se poate spune că se recomandă folosirea elementelor finite de tip masiv numai atunci când utilizarea elementelor finite de tip înveliș este insuficientă pentru cunoașterea în detaliu a mărimilor care definesc fenomenul studiat.

Subiectul 5.

În Fig. 1, se prezintă modul de amplasare a unei plăcuțe pentru consolidarea unei fisuri apărute la o bară din oțel aliat, solicitată la încovoiere. În Fig. 2, se prezintă detalii privind desenul de execuție pentru plăcuța utilizată. Cunoscând că materialul din care este confecționată plăcuța este un aliaj Co-Cr, având următoarele proprietăți mecanice și elastice: rezistența la rupere = 1035 MPa, limita de curgere = 585 MPa, modulul de elasticitate longitudinal $E = 190000$ MPa, coeficientul de contrație transversală = 0,28, se cere să se prezinte etapele care trebuie parcurse pentru realizarea modelului de calcul în vederea analizei prin metoda elementelor finite a stării de tensiune și deformație din placă.

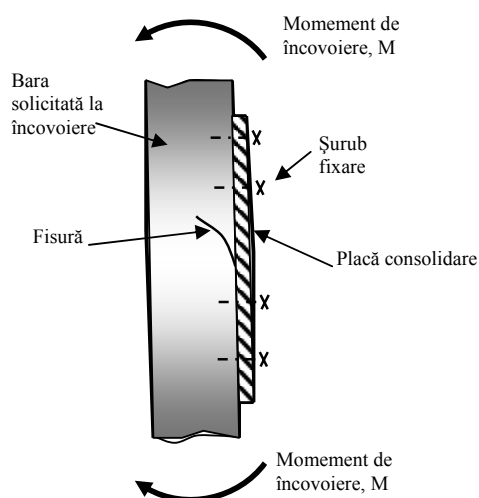


Fig. 1. Schema de plasare pe bară a plăcuței pentru consolidare fisură

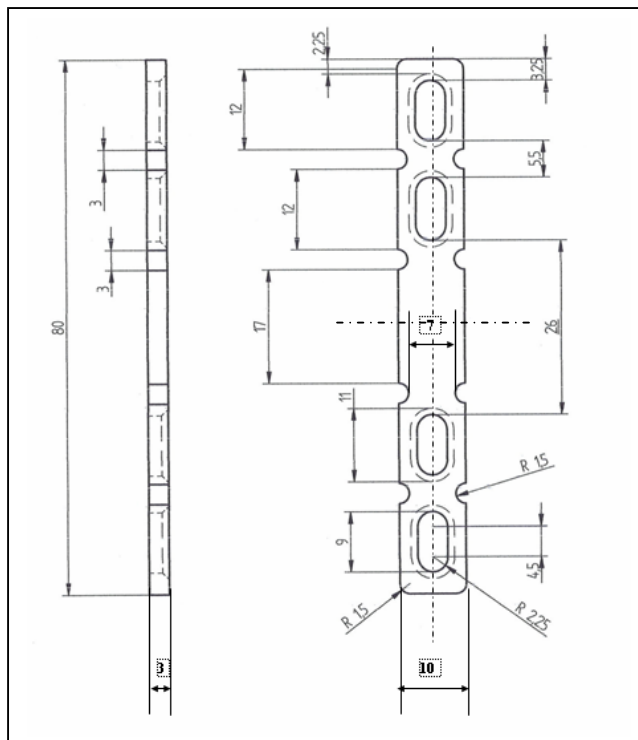
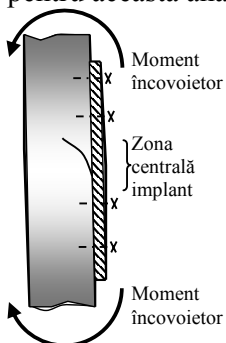


Fig. 2. Detalii pentru desenul de execuție al plăcuței de stabilizare a fisurii

RĂSPUNS:

1. Se analizează geometria reală a plăcuței în scopul stabilirii tipurilor de elemente finite potrivite pentru această analiză.



Analizând modul de solicitare predominant al acestui tip de implant, în conformitate cu schema din Fig. 3, rezultă că zona cu tensiuni maxime este zona mediană, la extremitățile căreia există concentratori de tensiune reprezentați de degajările circulare laterale.

Întrucât avem o geometrie cu grosime variabilă (a se vedea teșiturile din zonele găurilor care reprezintă la rândul lor secțiuni cu concentrator de tensiune) și de asemenea având în vedere prezența concentratorilor de tensiune pe domeniul plăcii, se recomandă a se folosi elemente finite tridimensionale de tip tetraedru și hexaedru. În cazul în care pachetul software folosit dispune de

Fig. 3. Schema de solicitare a implantului

din superior, (high element), adică elemente finite pătratiche, (care au câte un nod suplimentar la mijlocul laturilor), se recomandă folosirea lor. În acest fel precizia de calcul va crește, iar timpul de calcul nu se modifică într-un mod dezavantajos în cazul în care dispunem de o platformă puternică de calcul.

2. Se elaborează modelul geometric nativ în pachetul software CAE disponibil, sau se importă geometria dintr-un program CAD.

3. Se declară proprietățile de material (modulul de elasticitate longitudinal și coef. de contracție transversală).

4. Se discretizează structura, alegându-se prin iterații succesive o discretizare optimă care să asigure stabilitatea și convergența soluției problemei.

5. Se impun condițiile pe contur pentru deplasări și pentru sarcinile aplicate. Se va avea în vedere aplicarea corectă atât sub aspectul tipurilor de deplasări și sarcini impuse cât și al zonelor în care ele se impun astfel încât modelul de calcul să se apropie cât mai mult de condițiile reale ale modelului

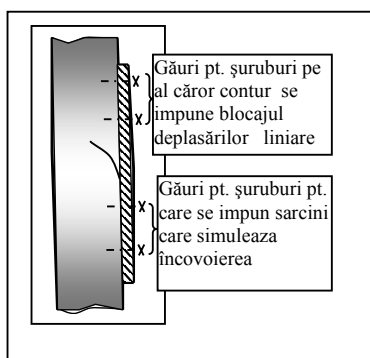


Fig. 4. Schema de amplasare a condițiilor pe contur pt. modelul de calcul.

fizic. În Fig. 4. se prezintă o variantă pentru amplasarea condițiilor pe contur pentru modelul de calcul elaborat.

6. Lansarea în execuție a modului de analiză statică, în care se calculează necunoscutele primare (deplasările nodurilor) și secundare (deformațiile specifice, tensiunile și mărimile echivalente de calcul pentru acestea în conformitate cu diverse teorii de rupere).

În special pentru modelul de calcul analizat sunt importante tensiunile echivalente calculate după teoria energiei specifice modificare de formă (Von Mises).

7. Se postprocesează rezultatele obținute în urma calculelor făcute. Aici se va avea în vedere distribuția generală a tensiunii echivalente Von Mises, pentru întreaga plăcuță, acordându-se o atenție specială zonelor cu vârfuri de tensiune, care corespund desigur zonelor cu concentrator de tensiune. Se recomandă utilizarea reprezentărilor grafice a mărimilor de calcul în zonele de interes. Se vor compara tensiunile maxime cu tensiunea de curgere. Condiția de rezistență este satisfăcută dacă este îndeplinită condiția:

$Tensiunea\ maximă\ (Von\ Mises) < Tensiunea\ de\ curgere\ (585\ MPa)\ în\ cazul\ nostru.$

Pentru a realiza o structură sigură se impune un coeficient de siguranță supraunitar. În acest fel tensiunea maximă se compară cu tensiunea admisibilă definită de raportul dintre tensiunea limită de curgere (în cazul nostru, sau de rupere în cazul unui material fragil) și coeficientul de siguranță. În cazul satisfacerii acestor condiții modelul analizat este acceptat.

În cazul în care condițiile prezentate nu sunt satisfăcute se reia proiectarea plăcuței cu alegerea unor soluții care să conducă la micșorarea vârfurilor de tensiune. Pentru modelul de placă nou se elaborează un nou model de calcul în vederea verificării satisfacerii condițiilor de rezistență.

Bibliografie subiecte 1-5:

1. **N. Faur**, Elemente finite –fundamente, Editura Politehnica, Timișoara, 2002.
2. **O.C. Ziekiewicz, R. L. Taylor, J.Z. Zhu**, The Finite Element Method, Its Basis and Fundamentals, Sixth edition, 2006, Elsevier.

Echipamente de presare și injectare

Subiectul 6.

Natura fizică a deformațiilor în procesele tehnologice de deformare plastică

RĂSPUNS:

Sub acțiunea forțelor exterioare materialul se tensionează și suferă deformări.

Deformatia elastica = deformatia reversibila care dispare dupa ce forta exterioara inceteaza a mai actiona. Se modifica doar distanta dintre atomii rețelei cristaline metalice și este posibila revenirea la poziția inițială datorită forțelor interatomice.

Limita de elasticitate = limita de solicitare până la care deformatia suferita este în întregime elastica, reversibila.

Deformatia plastica = deformatia cu caracter remanent care se înregistrează dacă tensionarea indusă în material determină depășirea limitei de elasticitate (la valori de tensionare apropiate de "limita de curgere" a materialului). Se produce o deplasare ireversibilă a atomilor în rețea și modificarea configurației rețelei cristaline: sub formă de alunecări sau sub formă de macaj. Integritatea legăturilor cristaline și intercristaline nu este încă afectată.

Ruperea materialului = este rezultatul distrugerii legăturilor cristaline/intercristaline ca urmare a depășirii unui anumit nivel de tensionare specific și pentru grad de deformare ridicat (în cazul metalelor)

Subiectul 7.

Tăierea pe șanțe

RĂSPUNS:

Taierea = procedeu de prelucrare prin forfecare, sub acțiunea unei perechi de muchii taietoare, paralele sau înclinate. Procedeu se bazează pe ruperea materialului, amorțită prin fisurile induse de tensionarea specifică provocată de acțiunea celor două muchii active, conjugate.

Jocul = distanța dintre proiecțiile muchiilor de tăiere pe planul de așezare a semifabricatului (vezi figura 3.20, bibliografie)

Jocul optim = valoare a "jocului", corelată cu natura și grosimea materialului de prelucrat, care asigură condiții optime de tăiere: fisurile ce pornesc dinspre cele două muchii active sunt aproximativ în același plan, după care se va produce ruperea materialului, (vezi figura 3.21, bibliografie)

După o anumită durată de exploatare, ca urmare a uzurii, sunt inevitabile modificările dimensionale ale elementelor active. Dacă jocul dintre elementele active crește atunci :

- scade calitatea suprafeței de tăiere (forfecare)
- crește bavura de-a lungul conturului de tăiere
- dimensiunile piesele produse nu se mai înscriu în toleranțele prescrise.

În construcția stantelor, muchiile active conjugate sunt asigurate de obicei de elementele active :

- poanson, element mobil al sculei
- placa activă (sau de tăiere), element imobil, cu orificii de contur conjugat celui din secțiunea transversală în poanson

Perforare = tăierea după contur închis, dacă materialul care se află sub poanson este deseu

Decupare = tăierea după contur închis, dacă materialul care se află sub poanson este produsul ce se urmărește a fi obținut (în forma finală sau intermediară)

Subiectul 8.

Construcția unei stante combinate cu acțiune succesivă de perforare și decupare

RĂSPUNS:

Indicați denumirile elementelor componente ale unei stante combinate, cu acțiune succesivă de perforare și decupare (figura 3.56, bibliografie) :

1 = jgheab ; 2 = rigla de ghidare ; 3 = opritor initial ; 4 = arc de revenire ; 6 = placa activă ; 7 = placa de ghidare ; 8 = cautoare ; 9 = poanson de decupare ; 10 = poanson de perforare ; 11 = opritor fix

Descrieți modul de funcționare a stantei.

Se apasă opritorul initial (3) a cărui capăt iese în spațiul dintre riglele de ghidare (2). Semifabricat sub forma de fasie se așază pe jgheabul (1) și este împins printre riglele de ghidare (2) până când tamponează capătul opritorului initial (3). Acesta este folosit ca limitator de poziționare (sub poansonul de perforare) doar înainte de prima închidere a sculei. Se comandă prima închidere a sculei la care poansonul de perforare (10) perforază materialul iar poansonul de decupare (9) bate în gol. Se încetează acțiunea asupra opritorului initial (3) iar acesta se retrage sub acțiunea arcului de revenire (4) în locul din rigla de ghidare (și nu va mai fi folosit în continuare). Se împinge semifabricatul în scula până când tamponează opritoarele fixe (11) astfel încât zona perforată la prima închidere a sculei ajunge sub poansonul de decupare (9). Se comandă a doua închidere a sculei la care poansonul de perforare (10) perforază din nou materialul (în zona corespunzătoare celei de-a doua piese de executat) iar poansonul de decupare (9) detasează prima piesă din fasia de tablă. La cursa de revenire (ascendentă) a poansoanelor, materialul este blocat pe acestea și este ridicat de pe placa activă până la contactul cu partea inferioară a plăcii de ghidare. Este necesar ca operatorul să împingă ușor, în mod continuu, semifabricatul în stantă. În momentul în care poansoanele ce se retrag în placa de ghidare îl eliberează, acesta va cădea pe opritorul fix și poate avansa până când conturul de decupare tangentează acest opritor (semifabricatul este din nou pe placa activă). În această poziție zona perforată la închiderea anterioară este poziționată corect sub poansonul de decupare. La fiecare dintre următoarele închideri ale sculei ciclul acesta se repetă și rezultă câte un produs perforat și decupat.

Subiectul 9.

Procesul îndoirii

RĂSPUNS:

Îndoirea = proces de prelucrare ce constă în încovoierea după o linie dreaptă și care are ca efect modificarea poziției unghiulare între cele două aripi ale piesei. Materialul se tensionează și se deformează numai în zona învecinată liniei de îndoire. Reportat la lungimea inițială a semifabricatului, se constată scurtarea straturilor interioare (înspre centrul de curbura, ca urmare a solicitării de compresiune) și alungirea straturilor exterioare, ca urmare a solicitării de întindere la care acestea sunt supuse (figura 6.1, bibliografie). În secțiune transversală, grosimea produsului este mai mică decât cea a semifabricatului dar se constată o majorare a lățimii produsului final.

Stratul neutru = stratul de material care nu suferă nici alungire nici scurtare. Poziția acestuia este la $g/2$ doar pentru raze mari de îndoire. Pentru grade mari de deformare poziția stratului neutru va fi deplasată ("trasa") înspre centrul de curbura (g = grosimea semifabricatului). Servește la dimensionarea semifabricatului pentru operațiunea de îndoire.

Arcuirea. Materialul supus îndoirii suferă o deformare elasto-plastică. Pentru semifabricatul îndoit la unghiul β_1 , (figura 6.3, bibliografie), după încetarea solicitării, sub acțiunea componentei elastice a deformării se înregistrează o modificare a formei piesei care va avea unghiul β_2 între aripile îndoite ca urmare a fenomenului de arcuire, $\beta_1 < \beta_2$. Această situație impune corecția unghiului de îndoire a sculei astfel încât după prelucrare să se obțină o valoare unghiulară impusă între aripile piesei îndoite.

Calibrarea. La finele procesului se poate exercita asupra materialului prelucrat o forță superioară celei necesare pentru îndoire (prin compresiune statică sau în mod dinamic, sub forma unei lovituri de calibrare). Procedând astfel, componenta elastică a deformării se anulează sau se diminuează semnificativ iar materialul din vecinătatea liniei de îndoire suferă deformare preponderent plastică, remanentă.

Subiectul 10.

Tensionarea și deformarea materialului la ambutisare

RĂSPUNS:

Ambutisarea = procedeu de prelucrare prin care se obțin piese cave din semifabricat inițial sub forma de coală de tablă prin redistribuirea materialului (transpunerea așa numitelor "triunghiuri de exces de material") din zona inelară până la flansa în peretii laterali ai vasului format (figura 7.1, bibliografie).

Tensionarea materialului

În zona de fund al vasului materialul este solicitat la întindere plană (valoare redusă a tensionării).

În zona peretelui lateral materialul este supus solicitării de întindere radială ca urmare a acțiunii poansonului.

În zona de flansă se regăsește solicitarea specifică la ambutisare, asociată cu redistribuirea volumică a materialului din flansă în pereții în curs de formare :

solicitare de compresiune tangentială + întindere radială + compresiune axială

În zona de flansă se pot forma cute de material, ca urmare a compresiunii tangențiale, dacă semifabricatul nu este fixat (comprimat) cu o forță corespunzătoare.

Jocul dintre elementele active ale sculei, la ambutisarea fără subțierea intenționată a peretelui, nu poate fi mai mic decât grosimea semifabricatului.

Ambutisări succesive - Recoacerea materialului. La fiecare ambutisare, ca urmare a solicitării intense și a redistribuirii volumice, materialul prelucrat se ecruisează : devine mai dur, își pierde din proprietățile plastice. Dacă forma finită a produsului nu a fost obținută înainte de epuizarea proprietăților plastice, o următoare ambutisare aplicată acestui material ar putea duce la ruperea lui dar un grad avansat de deformare (ambutisare adâncă = produs cav, cota transversală mică și înaltă) poate fi obținut prin ambutisări succesive aplicate alternativ cu tratamente termice de recoacere pentru refacerea structurii cristaline și recuperarea plasticității materialului.

Bibliografie:

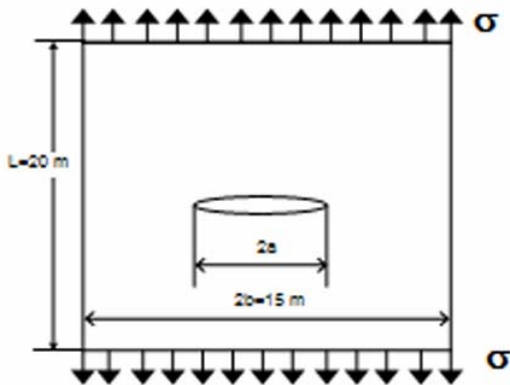
Rosinger S., Iclănzan T., Tehnologia presării la rece, Litografia UPT, Timișoara, 1989

Mecanica ruperii și deformării plastice

Subiectul 11.

O placă din oțel de dimensiuni foarte mari (lungimea de 25 m, lățimea de 15 m și grosimea de 25 mm) este sollicitată pe direcția longitudinală prin tensiunile σ . În zona centrală placa conține o fisură cu lungimea $2a = 60$ mm, care a stăpuns întreaga grosime a plăcii. Placa este executată dintr-un oțel cu tenacitatea la rupere $K_{Ic} = 950 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ și limita de curgere $\sigma_c = 290 \text{ MPa}$. Se cere:

- Să se calculeze tensiunea pentru care se produce ruperea fragilă a plăcii. Cât reprezintă aceasta valoare din limita de curgere.
- Care este mărimea zonei plastice?



RĂSPUNS:

- Placa având dimensiuni mari se poate utiliza expresia lui K_I stabilită pentru o placă infinită:
 $K_I = \sigma\sqrt{\pi a}$.

Pe baza condiției de rupere: $K_I = K_{Ic}$ se obține: $\sigma_{cr} = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{\pi a}} = \frac{950}{\sqrt{\pi 30}} = 97.8 \text{ MPa}$.

Ruperea plăcii se va produce la o tensiune critică σ_{cr} care este de 2,96 ori mai mică decât limita de curgere ($\sigma_c / \sigma_{cr} = 2,96$).

- Raza zonei plastice de la vârful fisurii este:

$$r_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma_c} \right)^2 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{950}{290} \right)^2 = 2,12 \text{ mm}$$

Subiectul 12.

Exprimați criteriul de rupere pe baza factorului de intensitate a tensiunii și definiți termenii pe care îi utilizează.

RĂSPUNS:

Ruperea fragilă a unei piese cu fisură se produce atunci când factorul de intensitate a tensiunii K_I atinge valoarea tenacității la rupere a materialului (factorului critic de intensitate a tensiunii) K_{Ic} :

$$K_I = K_{Ic}$$

unde factorul de intensitate a tensiunii $K_I = \alpha \sigma \sqrt{\pi a} f(a/W)$ exprimat în $[\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}]$ depinde de tensiunea aplicată σ de lungimea fisurii a de tipul sollicitării aplicate α și de geometria corpului

fisurat $f(a/W)$, iar tenacitatea la rupere K_{Ic} exprimată în $[MPa\sqrt{mm}]$ este proprietatea materialelor de a se opune propagării unei fisuri și se determină experimental.

Subiectul 13.

- a. **Enunțați criteriul de rupere pe baza deplasării de deschidere de deschidere la vârful fisurii.**
b. **Dacă pentru un aliaj de aluminiu se cunoaște limita de curgere $\sigma_c = 250 \text{ MPa}$, modulul de elasticitate $E = 70000 \text{ MPa}$ și valoarea tenacității la rupere $K_{Ic} = 750 \text{ [MPa}\sqrt{\text{mm}}]$ să se calculeze valoarea deplasării critice de deschidere la vârful fisurii.**

RĂSPUNS: a. O fisură se propagă stabil atunci când deplasarea de deschidere de la vârful fisurii $\delta [\text{mm}]$ atinge valoarea critic $\delta_c [\text{mm}]$.

b. Deplasarea critică la vârful fisurii se determină în funcție de tenacitatea la rupere K_{Ic} , limita de curgere σ_c și modulul de elasticitate E pe baza relației:

$$\delta_c = \frac{4 K_{Ic}^2}{\pi E \sigma_c} = \frac{4}{\pi} \frac{750^2}{70000 \cdot 250} = 0,04 \text{ mm}.$$

Subiectul 14.

În urma unei analize cu elemente finite la vârful unei fisuri solicate în modul mixt s-au determinat valorile factorilor de intensitate a tensiunii $K_I = 500 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$, respectiv $K_{II} = 300 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$. Dacă tenacitatea la rupere a materialului este $K_{Ic} = 575 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$ să se evalueze dacă fisura se va propaga instabil și unghiul sub care fisura se propagă aplicând criteriul tensiunii circumferențiale maxime.

RĂSPUNS: Pentru aplicarea criteriului de rupere în modul mixt se calculează factorul efectiv de intensitate a tensiunii:

$$K_{ef} = \sqrt{K_I^2 + K_{II}^2} = \sqrt{500^2 + 300^2} = 583 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}} > K_{Ic} = 575 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}.$$

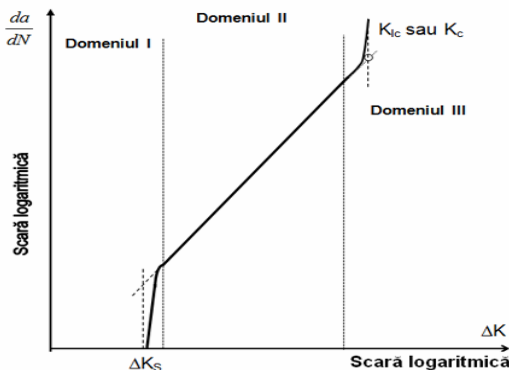
Deci fisura se propagă instabil.

Direcția de propagare a fisurii conform criteriului tensiunii circumferențiale maxime se determină cu relația:

$$\theta_c = 2 \arctan \left(\frac{1 - \sqrt{1 + 8(K_{II} / K_I)^2}}{4(K_{II} / K_I)} \right) = -0.758 \text{ radiani} = -44 \text{ grade}$$

Subiectul 15.

Diagrama din figură reprezintă corelația dintre viteza de propagare a fisurii și variația factorului de intensitate a tensiunii.



- a. **Ce reprezintă și în ce se măsoară limita de prag a variației factorului de intensitate a tensiunii?**
b. **Care este relația de legătură dintre viteza de propagare a fisurii da/dN și variația factorilor de intensitate a tensiunii ΔK ?**

RĂSPUNS:

- a. Valoarea variației factorului de intensitate a tensiunii sub care o fisură nu se propagă sub acțiunea

solicitărilor variabile. Unitate de măsură [MPa \sqrt{m}].

b. Legea lui Paris:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^n$$

Bibliografie enunțuri 11-15:

1. **I. Dumitru, L. Marșavina**, Introducere în mecanica ruperii, Editura Mirton, 2001.
2. **T.L. Anderson**, Fracture Mechanics- Fundamentals and Applications, Second Edition, CRC Press

Tratamente termice

Subiectul 16

Un lot format din 5 roți dințate executate din oțel C45 și având dimensiunile $\varnothing 200 \times 40$ mm sunt suprapuse într-un dispozitiv și supuse tratamentului de călire. Să se prezinte tehnologia de tratament termic și să se determine parametrii tehnologici ai regimului de tratament termic.

RĂSPUNS:

Tratamentul termic secundar pentru roțile dințate executate din oțelul C45 este format dintr-o călire (încălzire într-o singură treaptă la temperatura de austenitizare, urmată de menținere pentru uniformizarea temperaturii pe secțiunea produsului și răcire cu viteză mare în apă sau, mai rar, în ulei) urmată de o revenire înaltă (călire + revenire înaltă = îmbunătățire). În anumite situații, în funcție de natura solicitărilor la care sunt supuse roțile dințate, se poate aplica suplimentar o călire superficială (recomandat prin inducție).

Pentru determinarea parametrilor tehnologici ai regimului de tratament termic prin metoda criterială se parcurg următorii pași:

Temperatura de austenitizare (T_A) pentru oțelul C 45 este $T_A = T_i = 850^\circ\text{C}$ ([1], tab. A2).

Temperatura mediului $T_m = 850 + 20 = 870^\circ\text{C}$.

Determinarea duratei de încălzire și menținere (la călire)

$T_i = 850^\circ\text{C}$; $T_m = 850 + 20 = 870^\circ\text{C}$; $T_0 = 20^\circ\text{C}$

Calculul constantelor termofizice

- conductivitatea termică $\lambda = \frac{\lambda_{20} + \lambda_{850}}{2} \cdot \frac{1}{1.1627} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

$$\lambda_{20} = 50,66 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \lambda_{850} = 24,65 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad ([1], \text{tab. A12})$$

$$\lambda_m = \frac{50,66 + 24,65}{2 \cdot 1,1627} = 32,38 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

- căldura specifică $c_p = \frac{c_{p20} + c_{p850}}{2} \cdot \frac{1}{4185,5} \left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

$$c_{p20} = 452 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad ([1], \text{tab. A13}); \quad c_{p850} \text{ se determina prin interpolare folosind valorile } c_{p800} \text{ și}$$

$$c_{p1000}$$

$$c_{p800} = 933,4 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \quad ([1], \text{tab. A13}), \quad c_{p1000} = 1000,4 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \quad ([1], \text{tab. A13})$$

$$c_{p850} = 950,15 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}, \quad c_{pm} = \frac{452 + 950,15}{2 \cdot 4185,5} = 0,167 \frac{kcal}{h \cdot m \cdot ^\circ C}$$

- coeficientul de transfer de căldură de la mediu la piesă (considerăm încălzirea în cuptor electric (CE))

$$\alpha_{CE} = 0,075 \left(\frac{T_m}{100} \right)^3 + 15, \quad T_m = 870 + 273,15 = 1143,15 \text{ K}$$

$$\alpha_{CE} = 0,075 \left(\frac{1143,15}{100} \right)^3 + 15 = 127 \left[\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right], \quad \alpha_{CE} = 127 \left[\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

- difuzivitatea termică

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} = \frac{32,38}{0,167 \cdot 7845} = 0,025 \left[\frac{m^2}{h} \right]$$

Pentru a vedea dacă piesa se consideră groasă sau subțire se calculează criteriul Bi (în cazul acesta, dimensiunea caracteristică X , din relația criteriului Biot este raza arborelui, R , exprimată în metri).

$$Bi = \frac{\alpha \cdot X}{\lambda} = \frac{127 \cdot 0,1}{32,38} = 0,39 \quad [-], \quad Bi = 0,39 > 0,25 \Rightarrow \text{piesă groasă}$$

Se determină criteriul θ_s

$$\theta_s = \frac{T_m - T_s}{T_m - T_0} = \frac{870 - 850}{870 - 20} = 0,023 \quad [-], \quad Bi = 0,39 \text{ și } \theta_s = 0,023 \Rightarrow (\text{cf. fig. 2.13}[1]) \quad Fo = 4,5$$

$$Fo = \frac{a \cdot t}{X^2} \Rightarrow t_i = \frac{Fo \cdot X^2}{a} = \frac{4,5 \cdot (0,1)^2}{0,025} = 1,8h$$

Pentru a calcula durata de menținere, se determină criteriul θ_c

$$Bi = 0,39 \text{ și } Fo = 4,5 \Rightarrow (\text{cf. fig. 2.14, [1]}) \quad \theta_c = 0,04, \quad \theta_c = \frac{T_m - T_c}{T_m - T_0} \Rightarrow \theta_c \cdot (T_m - T_0) = T_m - T_c$$

$$T_c = T_m - \theta_c (T_m - T_0) = 870 - 0,04 \cdot (870 - 20) = 836 \text{ } ^\circ C, \quad \Delta c_i = T_s - T_c = 850 - 836 = 14 \text{ } ^\circ C$$

$$b = \frac{\Delta T_f}{\Delta T_i} = \frac{5}{14} = 0,35, \text{ cf. fig. 3.2, [1]} \Rightarrow m = 0,3$$

$$m = \frac{a \cdot t_m}{X^2} \Rightarrow t_m = \frac{m \cdot X^2}{a}, \quad t_m = \frac{0,3 \cdot (0,1)^2}{0,025} = 0,12h = 7,2 \text{ min}$$

Determinarea duratei de răcire

Mediul de răcire pentru călirea oțelului C 45 este apa. Menținerea pieselor în mediul de răcire se face până când suprafața acestora atinge temperatura $T_s = 100^\circ C$.

Conductivitatea termică, căldura specifică și difuzivitatea termică nu își modifică valorile calculate în partea de încălzire. Coeficientul de transfer de căldură de la mediu la piesă (α_{apa}) și temperatura mediului (T_{apa}) au valorile din tabelul 3.5.[1]

- coeficient de transfer de căldură de la mediu la piesă

$$\alpha_{apa} = 1300 \left[\frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (\text{tab 3.5, [1]})$$

- temperatura mediului $T_m = T_{apa} = 20 \text{ } ^\circ C$ (tab. 3.5, [1])
- difuzivitatea termică

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} = \frac{32,38}{0,167 \cdot 7845} = 0,025 \left[\frac{m^2}{h} \right]$$

$$Bi = \frac{\alpha \cdot X}{\lambda} = \frac{1300 \cdot 0,1}{32,38} = 4,01$$

$$\theta_s = \frac{T_m - T_s}{T_m - T_0} = \frac{20 - 100}{20 - 850} = 0,096$$

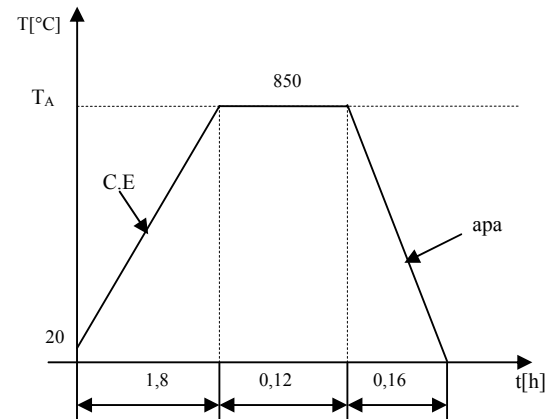
$Bi = 4,01$ și $\theta_s = 0,096 \Rightarrow$ (cf. fig. 2.8, [1]) $Fo = 0,4$

$$Fo = \frac{a \cdot t_r}{X^2} \Rightarrow t_r = \frac{Fo \cdot X^2}{a} = \frac{0,4 \cdot (0,1)^2}{0,025}$$

$$t_r = 0,16h \cong 9 \text{ min.}$$

Ciclograma tratamentului termic de călire volumică, completată cu valorile parametrilor tehnologici rezultați în urma calculelor este prezentată în figura alăturată.

După călire se aplica revenirea la 550...600 °C



Bibliografie

[1]: **L. Udrescu, S. Duma** Aplicații ale transferului termic la solide – Ed. „Politehnica” din Timișoara – 2001 – ISBN: 973-9389-94-5

Subiectul 17

O roată dințată având modul de 4 mm și fiind executată din oțel C20, este supusă carburării gazoase la temperatura de 900 °C.

Să se calculeze durata de carburare până la obținerea unei concentrații de 0.35 %C în adâncimea stratului, știind că în suprafață concentrația trebuie să fie de 1 %C.

RĂSPUNS:

Se cunosc mărimile:

- Temperatura de carburare $T_C = 900 \text{ °C}$;
- Concentrația medie inițială: $C_0 = 0.2 \text{ \%C}$ (C_0 rezultă din simbolul materialului, în cazul acesta oțelul analizat fiind C20);
- Concentrația în adâncime, $C(x, t) = 0.35 \text{ \%C}$;
- Concentrația în suprafață, $C_S = 1 \text{ \%C}$;
- Potențialul limită de carbon $C_{lim} = 1.1 \times C_S = 1.1 \times 1 = 1.1 \text{ \%C}$.

Grosimea stratului carburat se stabilește în funcție de (valoarea) modulul roții dințate și trebuie să se situeze în limitele indicate în figura 5.3. [1].

$f(m = 4 \text{ mm})$ rezultă că adâncimea stratului carburat trebuie să fie, $x = 1 \text{ mm} = 0.1 \text{ cm}$ [1], fig. 5.3,

Difuzia este caracterizată prin coeficientul de difuziune D_C [cm^2/s], a cărui valoare depinde de temperatura (T_C) și de diferența $\Delta C = C_S - C_0$, dependență redată în tabelul 5.1, [1].

Având în vedere că $T_C = 900 \text{ °C}$, $C_S = 1 \text{ \%C}$ și $C_0 = 0.2 \text{ \%C}$, rezultă valoarea coeficientului de difuzie al carbonului în austenită, $D_C = 1.2 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$, tabelul 5.1, [1].

Coeficientul de transfer de masă, $\beta = 1.2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, tabelul 5.2, [1].

Rezolvarea aplicației, prin metoda criterială, presupune utilizarea următoarelor criterii adimensionale: criteriul Biot, $Bi = \frac{\beta \cdot x}{D_c}$; criteriul Fourier, $Fo = \frac{D_c \cdot t}{x^2}$; criteriul Tihonov, $Ti = \beta \sqrt{\frac{t}{D_c}}$; criteriul $\xi = \frac{x}{2 \cdot \sqrt{t \cdot D_c}}$; criteriul $\theta_c = \frac{C(x,t) - C_0}{C_{lim} - C_0}$.

Adâncimea stratului carburat fiind $x = 0.1$ cm rezultă

$$Bi = \frac{\beta \cdot x}{D_c} = \frac{1.2 \times 10^{-5} \cdot 0.1}{1.2 \times 10^{-7}} = 10;$$

Concentrația corespunzătoare adâncimii de 0.1 cm fiind $C(x, t) = 0.35$ % C (se dă în enunț) putem calcula criteriul de concentrație

$$\theta_c = \frac{C(x,t) - C_0}{C_{lim} - C_0} = \frac{0.35 - 0.2}{1.1 - 0.2} = 0.17$$

Din nomograma din figura 5.2, [1], în funcție de valorile criteriului Bi și θ_c , rezultă $T_i = 5.7$, iar din relația criteriului Tihonov – valoarea duratei de carburare:

$$t = \frac{Ti^2 \cdot D_c}{\beta^2} = \frac{5.7^2 \cdot 1.2 \times 10^{-7}}{1.2^2 \times 10^{-10}} = 27075 \text{ s} = 7 \text{ h } 30 \text{ min}$$

Bibliografie

1. **L. Udrescu, S. Duma** Aplicații ale transferului termic la solide – Ed. „Politehnica” din Timișoara – 2001 – ISBN: 973-9389-94-5

Analiza experimentală a tensiunilor

Subiectul 18.

Enumerați câteva cerințe pe care trebuie să le îndeplinească un adeziv și precizați câteva categorii de adezivi utilizați pentru lipirea traductorilor electrici rezistivi.

RĂSPUNS:

Un adeziv corespunzător trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- să aibă proprietăți mecanice bune
- să adere perfect la suprafața piesei
- să nu fie higroscopic și sensibil la variații de temperatură
- aplicarea și uscarea lui să se realizeze ușor și repede.

Cei mai utilizați traductori electrici rezistivi pot fi grupați în următoarele trei categorii:

a) *Adezivi cu solvenți.* Datorită faptului că se obțin și se aplică ușor sunt cei mai utilizați. Cel mai simplu adeziv de acest tip se obține prin dizolvarea unei anumite cantități de celuloid în acetonă pură. Întărirea adezivului are loc la temperatură normală în urma evaporării solventului. Acești adezivi se utilizează la temperaturi de până la 70^0 C ... 80^0 C. Peste această temperatură adezivul se înmoaie. Adezivii cu solvenți sunt sensibili la umiditate, motiv pentru care trebuie protejați.

b) *Adezivi la care întărirea se face în urma unei reacții chimice.* La acest tip de adezivi pelicula se întărește în urma unei reacții chimice, uneori fiind necesare condiții speciale de temperatură și presiune. Sunt multe tipuri de astfel de adezivi: rășini epoxidice, ciano-acrilați, bachelita etc.

c) *Adezivi termoplastici.* Adezivii termoplastici dacă se încălzesc la 140^0 C se înmoaie, iar la temperatură ambiantă se întăresc. Această proprietate îi face foarte utilizabili în măsurătorile

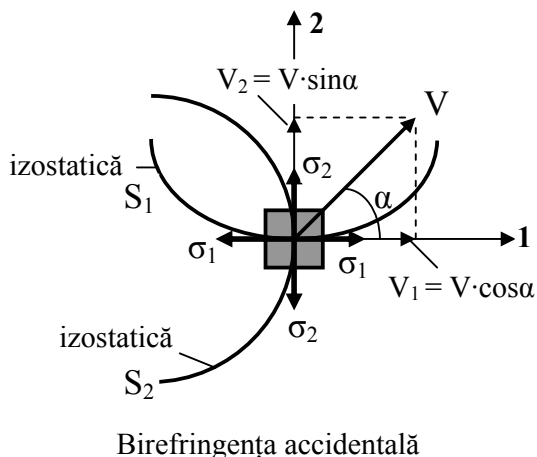
tensometrice, deoarece prin încălzire la 140°C se înmoaie și traductorul se poate desprinde de pe piesă și utiliza la alte măsurători (sunt reutilizabili). Sunt singurii traductori rezistivi care se pot utiliza la mai multe măsurători. Temperatura la care se efectuează măsurătorile nu trebuie să depășească 40°C , deci se utilizează numai pentru măsurători la temperatura mediului ambiant.

Subiectul 19.

Prezentați legea calitativă a fotoelasticității.

RĂSPUNS:

Legea calitativă a fotoelasticității afirmă că axele principale de birefrință accidentală într-un punct al piesei solicate, coincid cu direcțiile principale ale tensiunii normale din acel punct.



Datorită birefrinței accidentale, vibrația luminoasă V se descompune în două componente $V_1 = V \cdot \cos \alpha$ și $V_2 = V \cdot \sin \alpha$. Componenta V_1 se propagă în direcția lui σ_1 cu viteza v_1 , având un indice de refracție absolut $n_1 = c/v_1$. Componenta V_2 se propagă în direcția lui σ_2 cu viteza v_2 , având indicele de refracție absolut $n_2 = c/v_2$.

Bibliografie enunțuri 18-19:

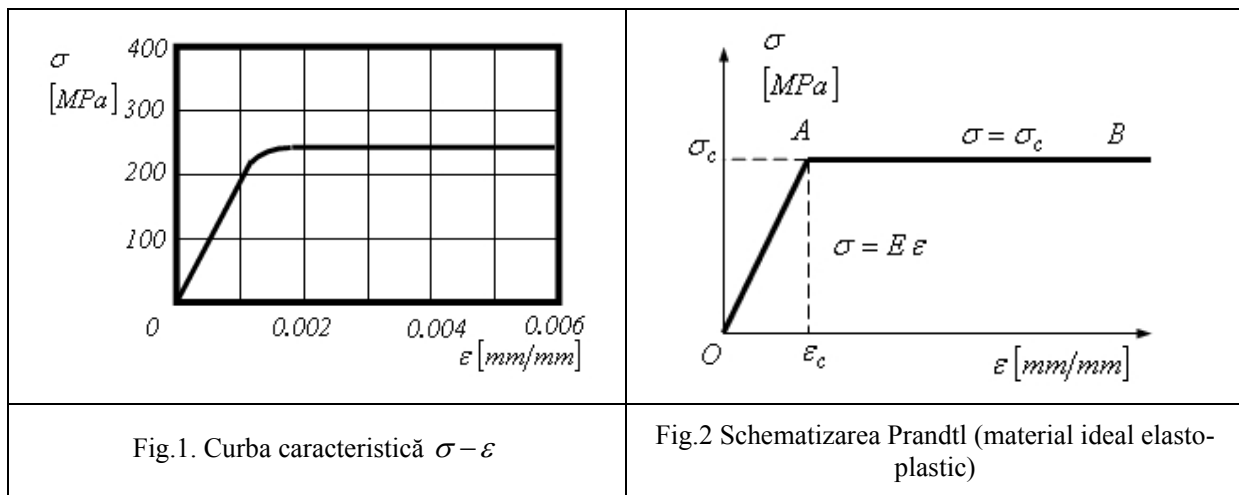
1. Tripa P., Faur N., Metode teoretice și experimentale de analiza tensiunilor și deformațiilor. Litografia UTT, 1994.

Probleme speciale de rezistența materialelor

Subiectul 20

O bară de lungime $l = 2 \text{ [m]}$ realizată din oțel are curba caracteristică $\sigma - \varepsilon$ prezentată în fig.1. Oțelul are limita de curgere 240 [MPa] și modulul de elasticitate longitudinal (panta porțiunii liniare inițiale) $2 \cdot 10^5 \text{ [MPa]}$. Bara este sollicitată la tracțiune cu o forță care produce o alungire $\Delta l = 6 \text{ [mm]}$, ulterior sarcina fiind îndepărtată. Se cer:

- a). schematizarea curbei caracteristice a oțelului;
- b). lungimea finală a barei l_f .



RĂSPUNS:

a). Schematizarea adecvată pentru diagrama $\sigma - \varepsilon$ prezentată în fig.1 este schematizarea Prandtl (fig.2), denumită și curbă caracteristică a unui material ideal elasto-plastic, material care prezintă un palier de curgere de lungime mare. În acest caz, zona deformațiilor plastice se reprezintă printr-o linie orizontală AB (modulul de plasticitate fiind $E_p = 0$), adică după atingerea limitei de curgere $\sigma_c = 240 [MPa]$ tensiunea nu mai crește. Pe porțiunea deformațiilor liniar-elastice OA , se consideră că tensiunea σ crește proporțional cu lungirea specifică ε (modulul de elasticitate longitudinal $E = 2 \cdot 10^5 [MPa]$), zona de proporționalitate extinzându-se până în punctul $A(\varepsilon_c, \sigma_c)$. Astfel, se poate scrie:

$$\begin{cases} \sigma = E \varepsilon, & 0 < \varepsilon < \varepsilon_c \\ \sigma = \sigma_c, & \varepsilon > \varepsilon_c \end{cases},$$

unde ε_c - reprezintă lungirea specifică corespunzătoare limitei de curgere σ_c ,

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E} = \frac{240 [MPa]}{2 \cdot 10^5 [MPa]} = 0,0012.$$

b). Pentru alungirea barei $\Delta l = 6 [mm]$ se determină lungirea specifică totală ε_t :

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta l}{l} = \frac{6 [mm]}{2000 [mm]} = 0,003$$

care corespunde punctului B pe curba caracteristică (fig.3), solicitarea barei realizându-se pe traseul OAB . La încetarea solicitării de tracțiune, din punctul B , descărcarea se realizează după dreapta BD paralelă cu porțiunea rectilinie inițială. Astfel deformația totală $\varepsilon_t (OK)$ are două componente: una elastică $\varepsilon_e (DK)$, care dispare la încetarea solicitării exterioare și una permanentă (remanentă sau plastică) $\varepsilon_p (OD)$, care rămâne:

$$\varepsilon_e = \frac{\sigma_B}{E} = \frac{240 [MPa]}{2 \cdot 10^5 [MPa]} = 0,0012 \Rightarrow \varepsilon_p = \varepsilon_t - \varepsilon_e = 0,003 - 0,0012 = 0,0018.$$

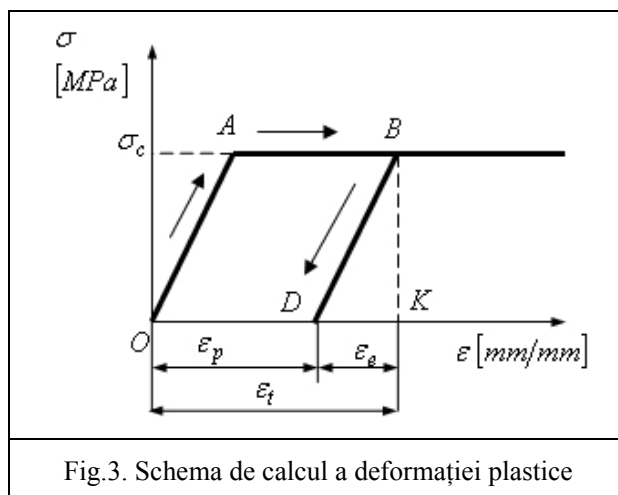


Fig.3. Schema de calcul a deformației plastice

Astfel, se calculează alungirea remanentă a barei:

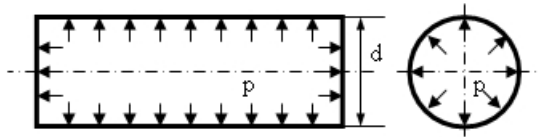
$$\Delta l_p = \varepsilon_p l = 0,0018 \cdot 2000 [mm] = 3,6 [mm],$$

și lungimea finală:

$$l_f = l + \Delta l_p = 2003,6 [mm] .$$

Subiectul 21

Rezervorul cilindric din figură are diametrul $d = 2,5 [m]$ și grosimea peretelui $h = 10 [mm]$. Cunoscând presiunea interioară $p = 1,2 [MPa]$ și tensiunea admisibilă $\sigma_a = 170 [MPa]$ să se verifice rezervorul dacă se utilizează teoria tensiunilor tangențiale maxime.



Rezervor cilindric supus la presiune interioară

RĂSPUNS:

Rezervorul cilindric are razele de curbura $R_1 = \infty$ (curba meridiană este generatoarea cilindrului) și $R_2 = d/2 = 1,25 [m]$. Raportul dintre grosimea peretelui și razele de curbura

$$\frac{h}{R_1} \rightarrow 0 \text{ și } \frac{h}{R_2} = \frac{10}{1250} = \frac{1}{125}$$

permit calculul rezervorului cilindric în teoria vaselor de revoluție cu pereți subțiri. Astfel, din ecuația lui Laplace rezultă:

$$\frac{\sigma_\varphi}{R_1} + \frac{\sigma_\theta}{R_2} = \frac{p}{h} \Rightarrow \sigma_\theta = \frac{p R_2}{h} = \frac{1,2 \cdot 1250}{10} = 150 [MPa].$$

Tensiunea normală σ_φ se determină din ecuația de echilibru general pentru o parte finită a învelișului:

$$\frac{\pi d^2}{4} p - (\sigma_\varphi h) \pi d = 0 \Rightarrow \sigma_\varphi = \frac{p d}{4h} = \frac{1,2 \cdot 2500}{4 \cdot 10} = 75 [MPa].$$

În conformitate cu teoria tensiunilor tangențiale maxime se poate scrie condiția de rezistență:

$$\sigma_{ech(3)} = \max \left\{ \left| \sigma_{\theta} - \sigma_{\varphi} \right|, \left| \sigma_{\theta} \right|, \left| \sigma_{\varphi} \right| \right\} \leq \sigma_a \Rightarrow$$

$$\sigma_{ech(3)} = \sigma_{\theta} = 150 < \sigma_a = 170 [MPa].$$

Bibliografie enunțuri 20-21

1. **I. Dobre**, Curs de rezistența materialelor, vol. I 1984, vol. II 1987, Lito IP „TV” Timișoara.

Mașini de ridicat și transportat

Subiectul 22.

Prezentați comparativ macaraua turn, automacara și macaraua pe pneuri.

RĂSPUNS:

Macaralele turn sunt mașini de ridicat și transportat care se montează pe o cale de rulare sau la punct fix și sunt destinate executării construcțiilor de mare înălțime (până la 200 m), care necesită deschideri mari ale brațului macaralei (30-60 m) și posibilități de manipulare a unor sarcini mari. Viteza de ridicare –coborâre a cârligului este mare, ceea ce permite folosirea acestor macarale la lucrări cu productivitate mare (lucrări de betonare în construcții, lucrări ajutătoare pentru montaje de cofraje, armături din oțel beton, etc.).

Un dezavantaj al macaralelor turn îl reprezintă faptul că nu se pot deplasa decât în limitele impuse de calea de rulare și nu se pot deplasa decât în curbe cu rază de curbă foarte mare.

Macaralele pe pneuri lucrează în depozite sau pe șantieri unde se deplasează pe distanțe relativ scurte. Se folosesc în marile șantieri pentru montare de grinzi, poduri, instalații eoliene, hale industriale. Macaralele pe pneuri se aleg pentru mobilitatea lor în cadrul șantierului; sarcinile pe care le ridică sunt mari (peste 1000 kN), viteza de ridicare a sarcinilor este însă relativ mică.

Automacaralele sunt mașini de ridicat deplasabile, montate pe șasiu auto care se pot deplasa pe șosele, de la un șantier la altul, la distanțe mari, fără a fi nevoie de alte mijloace de transport pentru echipamentul de lucru, contragreutăți, anexe. Se deplasează cu viteza unui autocamion.

Se folosesc pentru lucrări de montaj, care nu necesită productivitate mare. La înălțimi mari de ridicare a unor sarcini mari, raza de acțiune a macaralei este mică.

În concluzie, pentru lucrări de durată care necesită productivitate mare pentru ridicarea sarcinilor la înălțime mare se alege o macara turn.

Pentru lucrări care necesită deplasări frecvente la distanțe scurte și ridicarea pentru montare a unor sarcini mari se folosesc macarale pe pneuri (sau pe șenile).

Pentru intervenții rapide care necesită ridicarea unor sarcini relativ mari la rază, pentru intervenții la accidente pe șosele se folosesc automacaralele.

Subiectul 23.

Asemănări și deosebiri între transportoare cu bandă și transportoare cu plăci.

RĂSPUNS:

Transportoarele cu bandă sunt cele mai frecvent folosite instalații de transport continuu, utilizate pentru transportul materialelor în vrac sau granulare.

Transportoarele cu bandă utilizează o bandă fără sfârșit pe care se așează materialele și care se deplasează pe direcție orizontală sau înclinată, antrenată în mișcare prin frecare de către o tobă de acționare.

Pentru susținerea benzii se folosesc două, trei sau cinci role care se rotesc în jurul unei axe proprii fixată într-un dispozitiv de centrare fixat pe cadrul transportorului.

Benzile transportoarelor se confecționează din :

- benzi de cauciuc cu inserții textile sau metalice;
- benzi înguste din oțel ;
- sârme din oțel împletite.

Pentru realizarea antrenării optime a benzii se utilizează dispozitive de întindere ; cel mai frecvent se utilizează dispozitive de întindere cu contragreutate.

Mecanismul de acționare a benzii este alcătuit din :

- motor ;
- reductor ;
- tambur motor (electrotamburul);
- tambur de întoarcere .

Acționarea transportoarelor cu bandă este electrică. Sistemul de transmisii este mecanic (cu reductor și curea, cu reductor și transmisie cu lanț sau cu reductor planetar).

Transportoarele cu bandă sunt mașini simple, cu greutate redusă, ușor de întreținut, funcționare sigură, consum redus de energie și productivitate mare ; transportoarele staționare sunt indicate la deservirea instalațiilor definitive sau pe lungimi de transport mari .

Transportoarele cu plăci sunt instalații de transport continuu utilizate în cariere, balastiere, pentru deplasarea materialelor în vrac și a sarcinilor individuale cu gabarit mare. Transportoarele cu plăci se utilizează în condițiile în care transportoarele cu bandă s-ar distruge.

Transportoarele cu plăci au ca organe purtătoare ale sarcinilor plăcile, care sunt montate pe lanțuri articulate, fără sfârșit, acționate prin roți de lanț . Plăcile se montează prin nituire sau cu șuruburi și sunt confecționate din oțel aliat, rezistent la uzură.

Lanțurile de tracțiune sunt de tipul cu eclise și role. Fiecare lanț rulează pe câte un rând de role.

Plăcile transportorului sunt montate suprapus, formând așa numitul tablier continuu, pentru transportul materialelor în vrac; ele pot fi prevăzute cu borduri laterale, pentru a evita căderea materialului în partea laterală a transportorului.

Acționarea transportoarelor cu plăci este electrică.

Mecanismul de acționare al transportorului cu plăci este alcătuit din:

- motor,
- reductor;
- roți de antrenare;
- roți de întoarcere.

Spre deosebire de mecanismul de acționare al transportorului cu bandă, la transportorul cu plăci rolul tobei de acționare este luat de roțile de antrenare.

Roțile de antrenare sunt montate cu pană pe un arbore comun astfel încât să se rotească simultan; sunt montate la capătul transportorului spre care se îndreaptă materialul transportat.

Roțile de întoarcere (de capăt) fac parte din dispozitivul de întindere cu șurub; una din roți este montată pe un arbore cu pană, iar cealaltă este liberă pe arborele comun, în scopul sincronizării cu prima. Roțile de întoarcere sunt situate la capătul transportorului de la care pleacă materialul transportat.

Dispozitivul de întindere este montat la capătul transportorului opus celui de acționare și este de cele mai multe ori cu șurub.

Avantajele transportoarelor cu plăci :

- posibilitatea realizării forțelor de tracțiune foarte mari, datorită utilizării lanțurilor ca organ flexibil de tracțiune;
- posibilitatea de a transporta materiale calde, în turnătorii;
- construcție simplă a plăcilor;
- pante admisibile mult mai mari decât în cazul transportoarelor cu bandă;
- încărcarea transportorului cu un strat înalt de material.

Subiectul 24.

Explicați funcția de protejare a mașinilor de ridicat exercitată de dispozitivele de siguranță pentru poziții limită sau pentru stări de încărcare limită.

RĂSPUNS:

Limitatoarele de fine cursă sunt destinate să întrerupă automat mișcarea mecanismelor de ridicare a sarcinii și de deplasare a căruciorului, când sunt depășite pozițiile limită de lucru stabilite, dar permit acționarea mecanismelor în sens invers celui în care s-a limitat mișcarea.

Limitatoarele de fine cursă cârlig (ridicare–coborâre sarcină) întrerup automat acționarea mecanismului de ridicare, pentru pozițiile limită ale cârligului, astfel :

- mecanismul de ridicare este oprit când partea superioară a organului de prindere a sarcinii se apropie la cel puțin 200 mm de elementele de construcție ale macaralei de care acestea s-ar putea lovi ;
- coborârea la poziția cea mai de jos este oprită când pe tambur mai rămân înfășurate cel puțin două spire de cablu sau lanț ;
- funcționarea altor mecanisme este oprită când, prin acționarea lor, cârligul poate depăși poziția limită superioară.

Limitatoarele de fine cursă (deplasare) întrerup automat acționarea mecanismelor de translație :

- pentru pozițiile limită ale căruciorului pe brațul orizontal al macaralei turn ;
- pentru pozițiile limită ale căruciorului de-a lungul podului rulant ;
- pentru pozițiile limită ale macaralei pe calea de rulare ;

și întrerup acționarea mecanismului de ridicat, pentru pozițiile limită ale cârligului.

Limitatoarele de fine cursă basculare braț întrerup automat acționarea mecanismului de basculare pentru pozițiile limită de lucru ale acestuia (sus – jos).

Limitatoarele pentru stări de încărcare sunt destinate întreruperii acționării mecanismului de ridicare a sarcinii și a celui de deplasare a căruciorului.

Limitatorul de sarcină întrerupe automat acționarea mecanismului de ridicare în cazul depășirii sarcinii nominale cu 20%; permite coborârea sarcinii; cele mai folosite limitatoare de sarcină se montează pe rola de egalizare a palanului, cu ax excentric sau cu arcuri disc.

La macaralele acționate hidraulic, rolul limitatorului de sarcină îl are o supapă.

Limitatorul de moment trebuie să împiedice executarea mișcărilor cu sarcina numai pentru sensul care conduce la o creștere a momentului nominal $M=Q \cdot r$ (ridicarea cârligului cu sarcina, deplasarea căruciorului spre capătul brațului), lăsând posibile mișcărilor în sens invers.

Limitatorul de moment împiedică pierderea stabilității macaralelor cu braț .

Limitatorul de moment al macaralei turn cu braț orizontal întrerupe mișcarea de ridicare a sarcinii, respectiv translația căruciorului de sarcină spre capătul brațului.

Limitatorul de moment și sarcină este un dispozitiv complex care monitorizează în permanență condițiile de lucru ale utilajului pe care este montat; dispozitivul compară valorile citite cu diagrama de lucru și blochează depășirea limitelor de lucru indicate de producător.

Bibliografie enunțuri 22-24

1. Alămoreanu M., Mașini de ridicat, Editura Tehnică, 1996

Bazele sudării

Enunțul 25

Privitor la sudarea MIG/MAG prezentați: definire, principiu, parametri de sudare, aplicabilitate.

RĂSPUNS:

Sudarea MIG/MAG, este un procedeu de sudare semimecanizat sau mecanizat, ce utilizează AE întreținut între electrodul fuzibil (sârma de sudare) antrenat mecanizat, uniform, cu o viteză constantă. În zona de sudare și MB, respectiv componentele de sudat, zona respectivă fiind protejată de gaz inert (MIG) sau gaz activ(MAG).Prin intermediul unei duze se focalizează în zona de sudare

gazul, asigurându-se implicit protecția zonei, dar și a AE .

Sursele de sudare utilizate la sudarea MIG/MAG sunt de regulă de curent continuu, cu caracteristică rigidă și permit autoreglarea (reglarea interioară) AE.

Variantele posibile de surse de sudare MIG/ MAG sunt:

- surse convenționale – care permit reglarea tensiunii, de obicei, în trepte;
- surse cu tiristoare – care permit reglarea continuă a tensiunii; operare și în impulsuri;
- surse cu tranzistoare – reglarea tensiunii-continuă; operare și în impulsuri.

Elementele unui cap de sudare, pentru MIG/MAG în concordanță cu principiile ergonomice aplicate în sudură sunt prezentate în figura 4.1 .

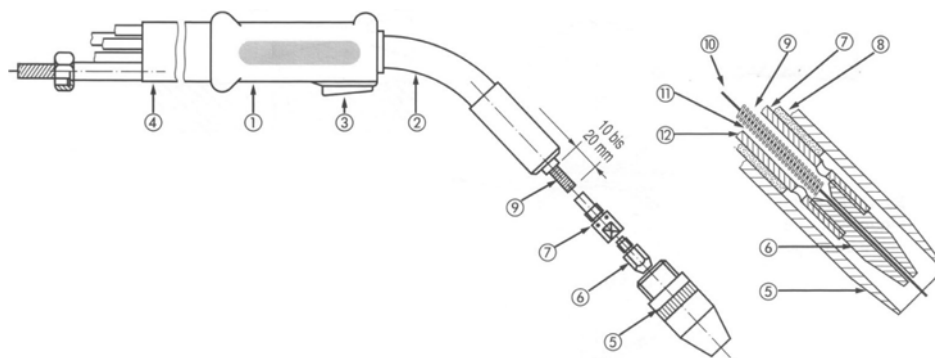


Figura 4.1. Componenta capului de sudare

- 1 – Mânerul arzătorului; 2 – Corpul arzătorului; 3 – Întrerupător; 4 – Furtun ce conține cablul de curent, furtunurile de gaz și răcire, ghidajul pentru sârmă; 5 – Duză de gaz;
6 – Contact electric; 7 – Duză de contact electric; 8 – Izolație; 9 – Ghidaj pentru sârmă;
10 – Sârmă electrod; 11 – Admisie gaz de protecție

De menționat că alimentarea cu gaz de protecție a posturilor de sudare se face prin:

- alimentare individuală din butelii;
- alimentare de la o rețea de distribuție, prin intermediul unei stații centrale.

Debitul de gaz depinde, în primul rând, de tipul de AE. Astfel, pentru un arc scurt (short – arc) se va avea în vedere un debit de 8 – 10 l / min, iar în cazul transferului prin pulverizare (spray – arc) debitul va fi de 15 –18 l / min .

Transferul de materiale la sudare și forțele ce acționează asupra capătului sârmei, sunt date în figura 4.2 .

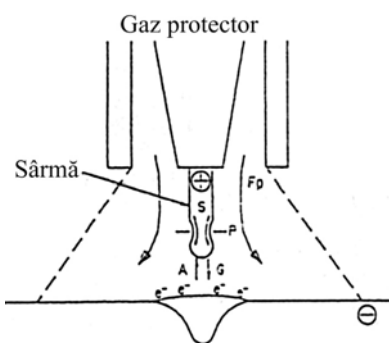


Figura 4.2. Transferul picăturii-forțe ce acționează asupra capătului sârmei

- G – forța gravitațională; P – forța electromagnetică; Fp – forța dinamică a jetului de plasmă; S – tensiunea superficială; F – Forța AE

Forța gravitațională G, forța electromagnetică P și cea dinamică a jetului de plasmă Fp favorizează desprinderea picăturilor, iar forța tensiunilor superficiale S și cea a arcului A se opun desprinderii picăturilor

FORȚA GRAVITAȚIONALĂ G – Este proporțională cu mărimea picăturii. La curenți mici, picăturile sunt mari, iar la curenți mari apare un transfer cu picături fine (spray arc) și forța gravitațională este scăzută.

FORȚA ELECTROMAGNETICĂ P – Curentul de sudare produce o forță electromagnetică care acționează la extremitatea topită a sârmei. Această forță ușurează desprinderea picăturilor. Această forță depinde de curentul de sudare și de densitatea lui și ea variază în funcție de compoziția gazului de protecție.

FORȚA TENSIUNILOR SUPERFICIALE S – Tensiunea superficială a metalului topit de la capătul sârmei variază cu intensitatea curentului de sudare. La curenți mici efectul de constrângere este foarte scăzut și tensiunea superficială are o valoare maximă. Dacă curentul depășește o valoare critică, fenomenul de constrângere datorat forței electromagnetice este prezent și tensiunea superficială scade.

FORȚA Arcului Electric A – se opune desprinderii picăturilor. Adăugarea de oxigen la argon ușurează eliberarea electronilor de pe suprafața piesei (catod) care scade forța AE, îmbunătățind transferul metalului.

Tipuri de transfer (tipuri de AE)

La sudarea MIG / MAG se utilizează diferite tipuri de transfer. Alegerea tipului de AE se face în funcție de: tipul gazului protecție; grosimea MB de sudat; poziția de sudare.

ARCUL SCURT (short arc) – se aplică la sudarea tablelor subțiri; la sudarea la poziție cu puteri reduse ale AE; sudarea rădăcinii sudurilor; transfer prin scurtcircuit, cu stropire redusă.

ARCUL INTERMEDIAR – putere medie a AE se aplică la sudarea tablelor având grosimea medie; se utilizează amestecuri bogate în argon și are loc un transfer cu picături mari, parțial cu scurtcircuite; stropirea este mai redusă decât la sudarea cu arc lung (în dioxid de carbon, de exemplu).

ARCUL LUNG – se utilizează la sudarea în dioxid de carbon a tablelor cu grosimi mari, utilizând curenți mari. Transferul de material are loc cu o stropire intensă, iar stropii sunt aderenți.

ARCUL SPRAY (prin pulverizare) – care asigură rate de depunere ridicate și viteze mărite de sudare în cazul sudării tablelor groase, utilizând amestecuri de gaze bogate în argon. Transferul de material se desfășoară cu picături fine, fără scurtcircuite, iar stropirea este foarte redusă.

ARCUL DE PUTERE RIDICATĂ – se aplică pentru rate de depunere și viteze de sudare mari, utilizând amestecuri speciale cu baza argon, cu adaosuri de heliu. În funcție de compoziția gazului apar diferite tipuri de AE și forme de transfer ale materialului cum ar fi: arc scurt de putere ridicată; arc rotitor.

ARCUL ÎN IMPULSURI – utilizabil în toate domeniile de putere, la sudarea MIG sau MAG în gaze de protecție bogate în argon, se recomandă, în special, în domeniul arcului intermediar; transferul de material are loc fără scurtcircuite, cu formarea unei picături pe impuls; stropirea este cea mai redusă în comparație cu toate tipurile de transfer; transferul în impulsuri este imposibil în dioxid de carbon.

Alimentarea AE în curent pulsant oferă avantaje după cum urmează: reducerea cu 50 – 60 % a energiei termice induse în componentele, cu implicații în: reducerea consumului de energie electrică; micșorarea ZIT – ului; reducerea deformațiilor; scăderea secțiunii rostului; minimalizarea influenței factorului uman asupra calității sudurii; permite extinderea domeniului de aplicabilitate (la grosimi mici, în diverse poziții etc.); posibilitatea utilizării sârmelor cu cele mai mari diametre, deoarece există posibilitatea funcționării cu densități mici ale curentului de sudare; diminuarea costului metalului de adaos; reducerea riscului de lipire a sârmei electrod; posibilitatea utilizării sudării la poziție (alta decât cea orizontală) a sârmelor tubulare, ceea ce poate conduce la înlocuirea treptată a sudării cu electrozi înveliți; eliminarea stropilor .

Parametrii la sudarea MIG/MAG

Curentul de sudare

Curentul de sudare se alege în funcție de: varianta de sudare; grosimea MB de sudat; diametrul sârmei electrod; poziția de sudare aplicată. De menționat este aspectul conform căruia condiția pentru a avea un AE stabil este ca viteza de avans a sârmei să fie egală cu viteza de topire a acesteia. În tabelul 4.1 se prezintă limitele pentru curenții de sudare în funcție de diametrul sârmei electrod

Tabelul 4.1. Corespondența între diametrul sârmei electrod și curentul de sudare

Diametrul sârmei electrod [mm]	Intensitatea curentului de sudare [A]
0,8	50 - 180
1,0	80 - 300

1,2	120 - 380
1,6	220 – 480
2,4	400 – 600

Tensiunea arcului

Tensiunea AE se alege în funcție de: gazul de protecție; curentul de sudare; poziția de sudare; geometria îmbinării. De obicei, tensiunea arcului este cu 2 – 3 V mai mare în cazul amestecurilor de gaze de protecție, față de cea utilizată la sudarea în CO₂.

Dacă tensiunea AE este mare, atunci crește lungimea acestuia, lățimea depunerii este mai mare, iar pătrunderea este mai mică. De asemenea, baia de metal devine mai fluidă, iar la sudarea MAG se produce o ardere intensă a elementelor de aliere.

Viteza de sudare

Se alege în funcție de: varianta de sudare; modul de sudare (gradul de mecanizare), cu specificarea că pentru sudare semimecanizată, viteza de sudare nu depășește 40 cm/min.

Polaritatea

De obicei, la sudarea MIG /MAG, se utilizează curentul continuu, polaritatea fiind inversă (polul + se leagă la sârma electrod).

Se utilizează polaritatea inversă pentru că: stabilitatea AE este mai bună; pătrunderea crește; stropirea este mai redusă.

În cazul în care procedeul MIG / MAG se utilizează la depuneri pe suprafețe, atunci se utilizează polaritatea directă (polul – se leagă la sârma electrod) .

Debitul gazului de protecție

În cazul sudării oțelurilor, debitul de gaz se alege astfel:

- pentru sudarea cu arc scurt: 10 –15 l / min;
- pentru sudarea cu arc prin pulverizare: 15 – 20 l / min.

Trebuie avut în vedere și diametrul duzei de gaz. Cu cât acesta este mai mic, cu atât debitul gazului trebuie să fie mai scăzut, pentru a nu se produce turbulențe.

Lungimea liberă

Lungimea liberă se alege în funcție de tipul AE. Astfel, pentru AE în scurtcircuit se alege o lungime liberă de 10 – 15 mm, iar pentru arcul prin pulverizare lungimea liberă va fi de 20 – 25 mm.

Energia liniară

Energia liniară, care pentru procedeele de sudare cu AE este dată de tensiune, curentul de sudare și viteza de sudare .

Materiale pentru sudare

La sudarea MIG / MAG materialele pentru sudare sunt combinații ale cuplurilor sârmă – gaz de protecție.

Sârme pentru sudare

Sârmele utilizate la sudarea MIG / MAG trebuie să aibă o compoziție aleasă de o astfel de manieră încât, să se aibă în vedere pierderile elementelor de aliere datorită oxidării la temperatura arcului și de faptul că dioxidul de carbon (CO₂) se descompune în monoxid de carbon (CO) și oxigen (O₂).

Carbonul din baia de metal topit reacționează cu oxigenul astfel produs, formând pori în îmbinarea sudată. Pentru evitarea acestei reacții nedorite, sârma trebuie să conțină elemente dezoxidante care să elimine oxigenul.

Cele mai utilizate sârme de sudare sunt aliate cu siliciu și mangan, aceste elemente combinându-se cu oxigenul și formând o peliculă de zgură, care în final se separă la suprafața metalului topit.

Unele sârme de sudare mai conțin, în afară de siliciu și mangan, mici cantități de aluminiu și titan. De subliniat că pierderile de siliciu și mangan sunt datorate reacțiilor cu gazul de protecție utilizat la aplicarea acestui procedeu de sudare.

În general, sârmele pentru sudarea MAG conțin în medie 0,1% C și 0,8 până la 1,2% Si.

Prezența unei cantități mai mari de Si în condiții normale de sudare poate avea ca efect un conținut mai mare în metalul depus prin sudare, care poate duce la apariția pericolului de fisurare la cald, atunci când conținutul de mangan este scăzut.

În cazul transferului cu o frecvență mare a picăturilor (amestecuri bogate în argon), datorită atât timpului scurt, cât durează desprinderea picăturii, cât și gradului mai redus de oxidare a gazului de protecție, are loc o ardere mai limitată a elementelor de aliere.

Elementele de aliere ale sârmelor utilizate la sudarea MIG / MAG se împart în "active" și "stabile". Împărțirea se face după modul cum reacționează acestea cu atmosfera oxidantă a AE și proporția în care se pierd la transferul metalului în sudură.

Elementele active, care la sudarea MIG/MAG produc ușor reacții în baia de metal topit sunt: C, Al, Zr, Si, V, Mn, Nb; acestea se pierd în mare măsură în timpul operației de sudare.

Elementele stabile, care se transferă în mare măsură din sârmă în îmbinarea sudată sunt: Cr, Mo, P, S, Co, Ni, Cu.

Elementele active la sudarea cu gaze oxidante (de exemplu CO₂) se transferă în metalul depus prin sudare în proporție de 30 –70 % din compoziția sârmei, pe când elementele stabile se regăsesc prin transfer în proporție de 90 – 100 % în îmbinarea sudată.

Condițiile de clasificare a sârmelor pline destinate sudării în medii de gaze protectoare a oțelurilor nealiate și cu granulație fină sunt stabilite de SR EN 440: 1996. Clasificarea se face în funcție de compoziția chimică a sârmei așa cum se poate vedea în tabelul 4.2.

Tabelul 4.2 Clasificarea sârmelor pentru sudarea MIG/MAG

Simbol	Compoziția chimică, % (m/m)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Al	Ti și Zr
GO	Orice compoziție chimică convenită, care nu este specificată în standard								
G2Si	0,06-0,14	0,50-0,80	0,90-1,30	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si1	0,06-0,14	0,70-1,00	1,30-1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G4Si1	0,06-0,14	0,80-1,20	1,60-1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G3Si2	0,06-0,14	1,00-1,30	1,30-1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,02	0,15
G2Ti	0,04-0,14	0,40-0,80	0,90-1,40	0,025	0,025	0,15	0,15	0,05-0,20	0,05-0,25
G3Ni1	0,06-0,14	0,50-0,90	1,00-1,60	0,020	0,020	0,80-1,50	0,15	0,02	0,15
G2Ni2	0,06-0,14	0,40-0,80	0,80-1,40	0,020	0,020	2,10-2,70	0,15	0,02	0,15
G2Mo	0,08-0,12	0,30-0,70	0,90-1,30	0,020	0,020	0,15	0,40-0,60	0,02	0,15
G4Mo	0,06-0,14	0,50-0,80	1,70-2,10	0,025	0,025	0,15	0,40-0,60	0,02	0,15

Sârmele pline, destinate sudării cu AE a oțelurilor inoxidabile și rezistente la temperaturi ridicate, sunt clasificate în EN 12072, iar SR EN 439: 1996 clasifică gazele de protecție în conformitate cu caracteristicile chimice ale acestora, clasificarea constituind o bază pentru certificarea combinațiilor dintre gazul de protecție și sârma electrod.

Clasificarea sârmelor tubulare se face după următoarele criterii: modul de protejare a băii metalice, destinație (domeniu de aplicabilitate), dar și profilul de închidere.

În funcție de modul de protejare a băii metalice există: sârmă tubulară cu auto protecție; sârmă tubulară pentru sudare în mediu de gaz protector; sârmă tubulară pentru sudare sub strat de flux; sârmă tubulară pentru sudare în baie de zgură.

Din punct de vedere constructiv există: sârmă tubulară cu profil de închidere simplu sudat (figura 4.3.a); sârmă tubulară cu profil de închidere simplu, cap la cap (figura 4.3.b); sârmă tubulară cu profil de închidere simplu cu marginile suprapuse (figura 4.3.c); sârmă tubulară cu profil de închidere simplu, cu îndoirea unei margini (figura 4.3.d); sârmă tubulară cu profil de închidere simplu cu îndoirea ambelor margini (figura 4.3.e); sârmă tubulară cu profil de închidere dublu (figura 4.3.f).

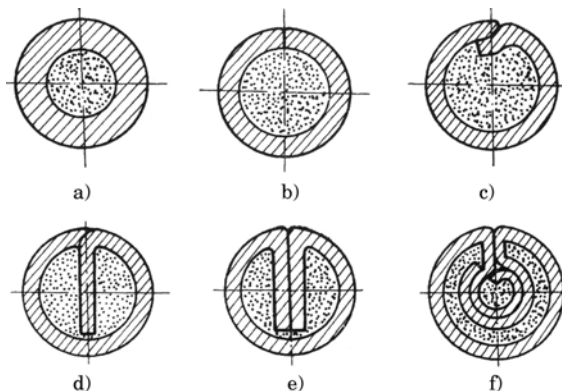


Figura 4.3. Tipuri de sârme tubulare

Proprietăți ale componentelor gazelor

ARGON: gaz inert, nu reacționează cu MB; mai greu ca aerul; protejează metalul topit de acțiunea aerului; este ușor de ionizat; amorsarea procesului de sudare fiind mai ușoară. Este cel mai utilizat.

HELIU: gaz inert, nu reacționează cu MB; mai ușor ca aerul fiind necesare debite mai mari pentru protecția băii de metal topit; potențial de ionizare ridicat: dificultăți la amorsarea AE; potențial de ionizare ridicat: tensiuni ale AE mai mari; conductivitate termică și potențial de ionizare ridicate: aport de căldură mai ridicat în MB; aport de căldură sporit: umectare mai bună; pătrundere mai lată; suprafață mai plană; viteză de sudare mai mare (uneori). Aplicabilitatea este mai mare în America, de exemplu.

DIOXID DE CARBON: gaz activ (efect oxidant); stabilizează AE; este mai dens decât aerul, protejând bine metalul topit; se disociază în spațiul arcului în CO și O rezultând o creștere de volum care conduce la o protecție mai bună a metalului topit; la disocierea completă se produce procesul de oxidare și eventual, puțină carburare; potențial de ionizare ridicat; amorsare dificilă; transfer de căldură îmbunătățit.

OXIGEN: gaz activ, cu efect puternic oxidant (de două până la trei ori mai intens ca CO₂); efect stabilizator al AE; reduce tensiunea superficială, conducând la o stropire redusă, iar depunerile sunt foarte plate; datorită tensiunii superficiale reduse există pericolul de apariție a defectelor de tip lipsă de topire, ca urmare a curgerii în față a băii de metal topit; gaz de protecție foarte sensibil la formarea porilor; potențial de ionizare redus.

HIDROGEN: gaz activ (efect reducător); potențial de ionizare și conductivitate termică ridicate producând o încălzire puternică a MB. AE este strangulat de către H₂ rezultând un AE cu densitate mare de energie; aportul termic ridicat și strangularea AE conduc la creșterea vitezei de sudare; risc de formare fisuri și pori la oțeluri nealiat; risc de formare a porilor la sudarea oțelurilor austenitice Cr – Ni cu creșterea conținutului de H₂.

AZOT: gaz reactiv, deci reacționează cu metalul la temperaturi ridicate, iar la temperaturi scăzute are comportare inertă; formare de pori la sudarea oțelurilor; duce la durificarea oțelurilor (îmbătrânire), în special la cele cu granulație fină; reduce ferita din oțelurile austenitice, fiind formator de austenită.

CO₂: la sudarea cu AE scurt, în special; stropirea crește semnificativ cu creșterea vitezei de avans a sârmei; realizarea de îmbinări cu porozitate redusă; cantitate mare de zgură la suprafața sudurii.

Amestecuri Ar + CO₂: cel mai utilizat amestec de acest tip este cel ce conține 18% CO₂, restul fiind Ar, acest amestec fiind un compromis între avantajele dioxidului de carbon (CO₂) și stropirea redusă,

datorată amestecurilor Ar – O₂; în industria constructoare de autovehicule, unde trebuie redusă cantitatea de zgură, tendința este de reducere a ponderii CO₂ în amestecuri, ceea ce duce și la reducerea stropilor; la sudarea tablelor ruginite, cu țunder sau murdare cu unsoare, se recurge la creșterea conținutului de CO₂ până la 25 % pentru reducerea tendinței de formare a porilor.

Amestecuri Ar + O₂ + CO₂: scopurile acestor amestecuri: stropire redusă (ca la Ar + O₂); viteze de sudare mari; pătrundere sigură, ca la CO₂.

Amestecuri 80% Ar + 15 % CO₂ + 5 % O₂: destinate sudării tablelor murdare, cu țunder, ruginite, de grosime mare; tendința actuală: CO₂: (10 – 15) %; O₂: (3 – 6) %; restul Ar.

Amestecuri Ar + (3 – 6) % CO₂ + (1 – 4) % O₂: la sudarea tablelor curate; stropire foarte redusă; cantitate redusă de zgură datorită conținutului scăzut de elemente active (CO₂, O₂); sensibilitatea la formare de pori crește.

Amestecuri Ar + He + O₂ + CO₂: la sudarea cu rate mari de depunere; adaosul de heliu îmbunătățește capacitatea de umectare a metalului; depunerile sunt mai late datorită heliului.

Tipurile de pregătire a pieselor de îmbinat de oțel pentru sudare cu arc electric în mediu de gaz protector sunt cele menționate în SR EN ISO 9692.

Realizarea produselor în construcție sudată se face de către personal calificat, utilizând proceduri de sudare calificate .

În tabelul 4.3 sunt prezentate regimuri de sudare MAG cu sârmă plină, recomandate la sudarea MB din oțeluri carbon și slab aliate, cu grosimi cuprinse între 0,5 și 6,5 mm, cu specificarea că sudarea este cu arc scurt, îmbinările pot fi cap la cap și în colț, gazul de protecție utilizat fiind CO₂ .

Tabelul 4.3. Parametri de sudare MIG/MAG

Grosime metal de bază [mm]	0,5	1,0	2,0	3,5	5,0	6,5
Diametrul sârmei electrod [mm]	0,8	0,8	0,8	1,0	1,2	1,2
Viteza de avans a sârmei [m/min]	1,9	3,8	5,7	6,4	3,8	5,0
Curentul de sudare [A]	35	70	100	175	165	200
Viteza de sudare [m/min]	0,25	0,38	0,50	0,50	0,43	0,43
Tensiunea arcului [V]	17	18	20	22	20	21
Debitul de gaz [l/min]	12 – 17					
Lungimea liberă [mm]	6 – 12					

AVANTAJELE utilizării procedului de sudare MIG/MAG sunt: grad mare de universalitate din punct de vedere al MB; rată mare de depunere; productivitate crescută - viteză mare de sudare; cerințe relativ scăzute de abilități pentru operatorii sudori; posibilități de mecanizare; aplicabilitate la sudarea în orice poziție; cheltuieli de investiții relativ reduse și numeroase variante de achiziționare pe piața de profil din România etc .

DEZAVANTAJELE utilizării procedului de sudare MIG/MAG sunt: sensibilitate la defectele de la începutul sudurii (avansul sârmei demarează simultan cu începerea procesului de degajare a energiei); dificultăți la sudarea în spații deschise datorită curenților de aer, care perturbă protecția etc .

APLICAȚIILE posibile sunt în domenii după cum urmează: construcții de mașini, construcții industriale, construcții navale, construcții de autovehicule, domeniul industriei chimice și petrochimice, domeniul agricol etc.

Bibliografie 25

1. Popescu M., Bazele proceselor de sudare-teme experimentale, Editura Politehnica, 2010

Președinte Board Inginerie Mecanică
Profesor Univ. Dr. Ing. Nicolae FAUR