



TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Executarea manuală a formelor și miezurilor cu modele și
cutii de miez



EXECUTAREA MANUALĂ A FORMELOR ȘI MIEZURILOR CU MODELE ȘI CUTII DE MIEZ

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare privind formarea manuală în rame, cu model și formarea manuală a miezurilor în cutii de miez precum și materialele și sculele necesare la formarea manuală, urmărindu-se, de asemenea, consumul de materiale și norma de timp necesară la formarea manuală.



ELEMENTE TEORETICE

Turnarea este una dintre metodele cele mai obișnuite și mai economice ale tehnicii actuale de obținere a produselor metalice, motiv pentru care este larg răspândită.

Prin *turnare* se înțelege operația de umplere cu metal lichid a unei forme având cavitatea corespunzătoare geometriei piesei turnate. La solidificare, va reproduce și păstra configurația geometrică și dimensiunile cavității forme care reprezintă însăși piesa de fabricat. La baza proceselor de turnare stă *principiul fizic* în virtutea căruia orice lichid ia forma vasului care-l conține.

Forma de turnare este ansamblul metalic sau nemetalic care cuprinde una sau mai multe cavități care prin umplere cu metal lichid și solidificare, va da una sau mai multe piese turnate. Pereții exteriori ai cavității materializează configurația exterioară a piesei, iar *miezurile* materializează configurația interioară a piesei, montându-se în formă pe unele prelungiri denumite *mărci*.

În funcție de natura pereților cavității și de numărul de utilizări, formele se împart în trei clase: temporare, semipermanente și permanente.

ELEMENTE TEORETICE

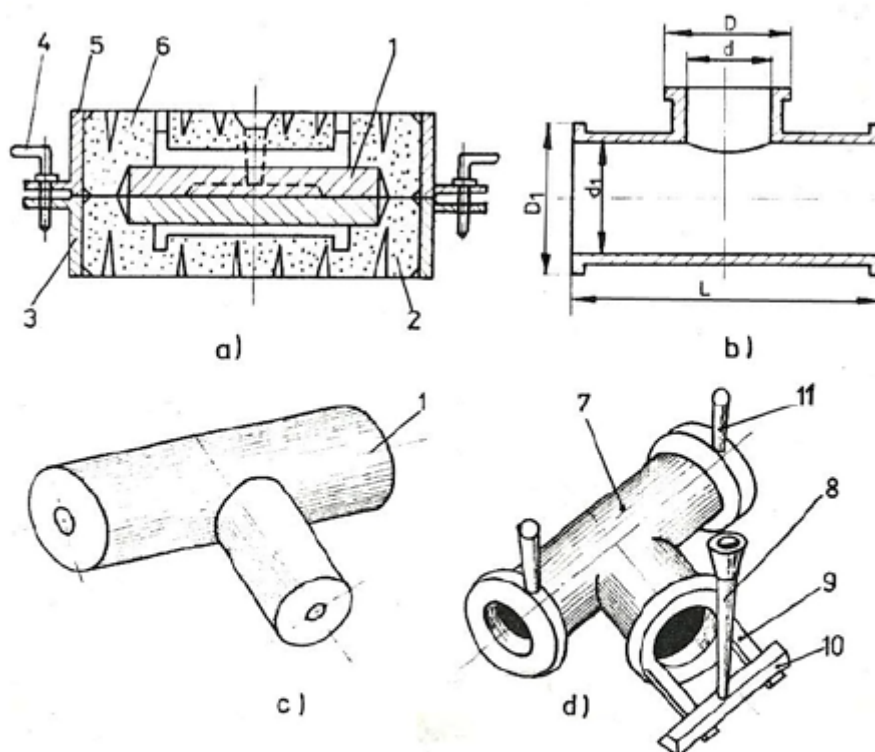


Figura 1.1. Forma de turnare și elementele ei:
 (a) – forma de turnare; (b) – schița piesei de fabricat; (c) – miezul; (d) – piesa turnată cu elementele rețelei de turnare.

ajutorul miezului 1, Figura 1.1(c), care se fixează în formă pe niște prelungiri denumite *mărți*. Pentru introducerea metalului topit în formă se prevede *rețeaua de turnare* alcătuită din: *pâlnia de turnare* 8; *canalele de alimentare* 9; *canalul de distribuție și colector de zgură* 10 și *răsuflătorile* 11. După umplerea formei, solidificarea metalului și răcire, forma se distruge și se obține *piesa* 7 din Figura 1.1(d).

Formele temporare, Figura 1.1(a), sunt executate din amestecuri de formare, acestea având în componență, în principal, nisip și lianți. Ele se utilizează o singură dată, dar constituie metoda fundamentală de fabricare a pieselor, Figura 1.1(b), prin turnare. Forma de turnare este alcătuită din semiforma inferioară 2 și superioară 6, care este închisă în interiorul ramelor 3 și 5. Cele două rame sunt centrate cu ajutorul știfturilor 4 care trec prin găurile urechilor ramelor de formare. Cavitățile formei se realizează cu ajutorul modelului, iar gaura interioară a piesei se realizează cu



ELEMENTE TEORETICE

Formele semipermanente sunt construite din materiale refractare, bazate în special pe argilă și șamotă. Se utilizează pentru un număr limitat de turnări ($5\div 10$) cu mici reparații intermediare. Aceste forme se execută de regulă în solul turnătoriei prin șablonare, care realizează cavitatea piesei de turnat. Jumătatea superioară se realizează prin unul sau mai multe miezuri montate în rame superioare.

Formele permanente numite și *cochile*, sunt matrițe metalice executate din fontă sau oțeluri, prevăzute cu cavități corespunzătoare configurației exterioare a piesei și mărcilor pentru miez. Aceste forme se utilizează pentru un număr mare de turnări ($2000\div 80000$). Toate tipurile de forme sunt prevăzute cu *rețele de turnare*, *răsuflători* și eventual *maselote*.

Pentru obținerea pieselor turnate este nevoie de o succesiune a operațiilor tehnologice înscrise într-un traseu bine definit, alcătuind *procesul tehnologic de fabricație*. Varietatea mare de piese turnate a impus și dezvoltarea unei serii întregi de *metode și procedee de turnare*, dintre care se disting: turnarea pieselor în forme temporare, semipermanente și permanente.

Alegerea metodei și procedeeului de turnare se face în funcție de următorii factori: scara producției (individuală, serie, masă); aliajul ce se toarnă; precizia piesei turnate (dimensiuni, calitate, proprietăți etc.).



ELEMENTE TEORETICE

Turnarea pieselor în forme temporare

Procedeele la care forma nu rezistă decât la o singură turnare, se numesc *procedee de turnare în forme temporare*, la care formele se distrug în momentul dezbatării pentru scoaterea pieselor. La aceste procedee materialul de formare fie se recuperează, fie se pierde complet.

Cele mai importante procedee de turnare în forme temporare sunt: turnarea în forme din amestec de formare bazate pe nisip și liant, turnarea în forme coji, turnarea cu modele ușor fuzibile, turnarea în forme întărite cu CO_2 .

Schema procesului tehnologic de turnare în forme temporare, pentru toate procedeele este prezentată în *Figura 1.2*.



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

Garniturile de model. Modelul este reproducerea din lemn, metal sau alt material a piesei turnate, cu ajutorul căruia se imprimă în formă profilul exterior al piesei.

Golurile interioare ale piesei se realizează cu ajutorul *miezurilor* care se execută în cutiile de miez. Pentru poziționarea miezului în cavitatea formei, aceasta este prevăzută cu niște locașuri speciale denumite *mărci*, obținute prin intermediul unor proeminente de pe conturul exterior al modelului.

Pentru piesele cu configurație simplă se execută un model, iar pentru piesele cu configurație complicată este necesar să se construiască o *garnitură de model*, formată din: *modelul propriu-zis, cutie de miez și modelul rețelei de turnare*.

Calitatea pieselor turnate depinde în mare măsură de felul cum sunt proiectate modelele și cutiile de miez. Proiectarea se efectuează pe baza *desenelor pieselor turnate*, ținând seama de următoarele elemente: stabilirea metodei de formare, stabilirea poziției de turnare, alegerea planurilor de separație, stabilirea înclinărilor și racordărilor constructive, stabilirea adaosurilor de prelucrare și tehnologice, stabilirea adaosurilor de contracție, stabilirea dimensiunilor mărcilor.



ELEMENTE TEORETICE

Materialle folosite la formarea manuală

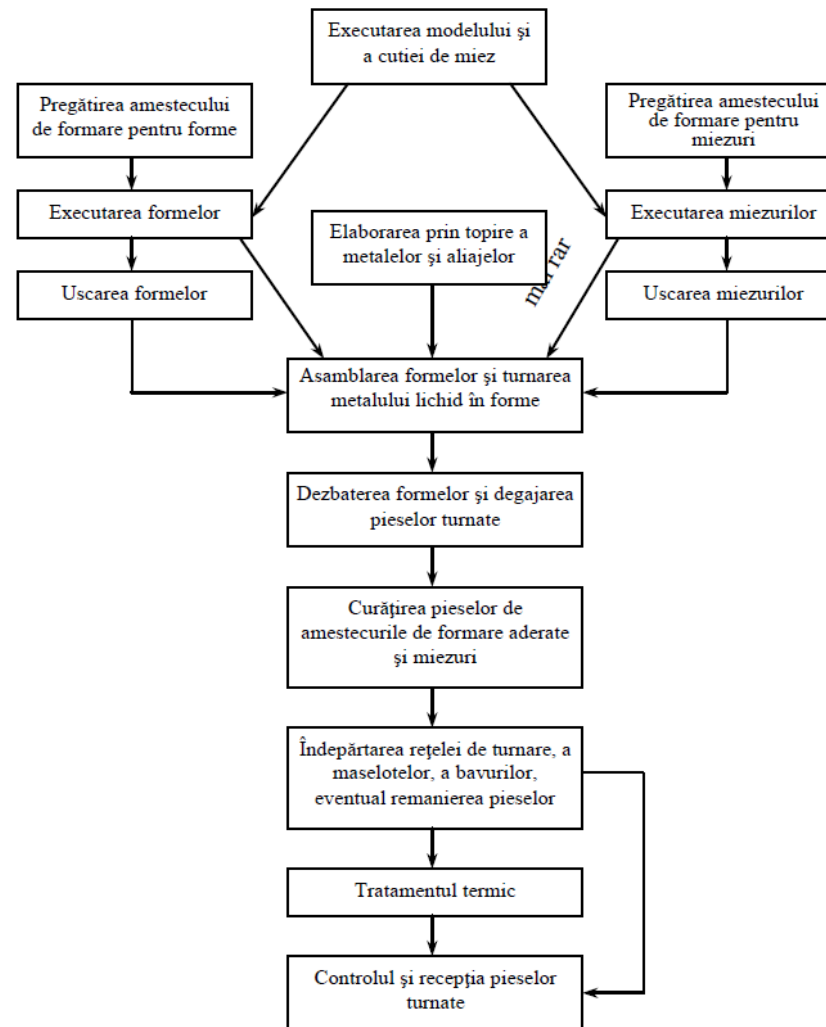


Figura 1.2. Schema procesului tehnologic de turnare în forme temporare.



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

Amestecuri de formare. Proprietăți. Formele temporare se execută din *amestecuri de formare* care pot fi *de model, de umplere, unic*, iar miezurile se execută din *amestecuri de miez*. În general, aceste amestecuri sunt constituite din: nisip de turnătorie, lianți naturali sau artificiali, adaosuri speciale.

Pentru reușita calitativă a pieselor turnate, amestecurile de formare trebuie să posede următoarele proprietăți:

- *rezistență mecanică* mare, necesară pentru ca forma să reziste la manipulări și la presiunea metalului lichid. Rezistența mecanică crește cu creșterea cantității de liant și finețea granulației nisipului, precum și cu creșterea gradului de îndesare;
- *permeabilitate la gaze* suficientă pentru a permite evacuarea gazelor din formă, care se degajă în timpul turnării: substanțe combustibile, aer, vapori de apă etc. Dacă aceste gaze nu se pot evacua prin porii amestecului, ele rămân în corpul piesei solidificate și apar defecte cum ar fi *suflurile*. Factorii care conduc la mărirea rezistenței mecanice, pe de altă parte conduc la micșorarea permeabilității la gaze. Deci, rezistența mecanică și permeabilitatea amestecurilor sunt invers proporționale, încât rezolvarea practică a problemei caută soluția compromisului dintre aceste proprietăți în sensul satisfacerii condițiilor cerute de forme;
- *plasticitatea* corespunzătoare, pentru a putea reproduce fidel configurația modelului. Plasticitatea crește proporțional cu conținutul de liant și cu umiditatea amestecului de formare, depinzând și de natura liantului și granulația nisipului, în sensul că dacă granulația nisipului este mai mică, amestecurile de formare sunt mai plastice;



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

- *refractaritate* mare, pentru a nu se deforma și vitrifica în contact cu materialul topit, proprietate care depinde de compoziția chimică și mineralogică a materialului. Refractaritatea se măsoară prin temperatura la care rezistă amestecul de formare, fără a se înmuia. Dintre componenții amestecului de formare, nisipul cuarțos (SiO_2) are refractaritatea cea mai mare (1710°C);

- *durabilitatea*, care reprezintă păstrarea proprietăților tehnologice la un număr cât mai mare de turnări. În cursul folosirii lor în turnătorii, amestecurile de formare se degradează treptat, la variațiile bruște de temperatură, când granulele de cuarț se sfărâmă, pierzându-și apa de constituție, problemă valabilă și pentru lianți. Degradarea amestecurilor se concretizează prin micșorarea permeabilității și refractarității după un anumit număr de turnări. Din acest motiv, din timp în timp, amestecurile de formare se înprospătează prin adaos de amestec nou și regenerare;

- *compresibilitatea*, care este proprietatea miezului sau a formeii de a ceda eforturilor de contracție care apar la solidificarea piesei turnate, evitându-se formarea crăpăturilor datorită frânării contracției.



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

Toate aceste proprietăți se verifică continuu în laboratorul de încercări prin analize și încercări standardizate. Rigurozitatea controlului acestor proprietăți influențează

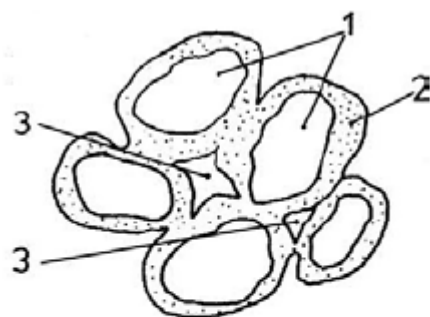


Figura 1.3. Schema macro a unui nisip de turnătorie:

- 1 – granule de nisip cuarțos;
- 2 – peliculă de argilă umedă;
- 3 – spații goale (pori).

direct calitatea piesei turnate, cunoscut fiind faptul că peste 50% din rebururile de turnare sunt datorate calității necorespunzătoare a amestecurilor de formare și miezuri. Principalele elemente componente ale amestecurilor de formare sunt prezentate în continuare.

Nisipurile de turnătorie. De regulă, sunt utilizate nisipurile naturale, formate din granule de cuarț (SiO_2) și cantități variabile de argilă care joacă rol de liant, formând cu apa adăugată o pastă capabilă să lege între ele granulele de nisip cuarțos așa cum se prezintă în *Figura 1.3*.

După conținutul de argilă, nisipurile naturale sunt: nisip cuarțos cu sub 2% argilă; nisip slab cu 2÷10% argilă; nisip semigras cu 10÷20% argilă; nisip gras cu 20÷30% argilă; nisip foarte gras cu 30÷50%.

După granulație nisipurile naturale sunt: nisip grosolan, cu dimensiunea medie a granulei de 0,5÷1 mm; nisip fin, de 0,06÷0,14 mm; pulberi, sub 0,06 mm.



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

Lianții. Sunt fie de proveniență naturală și reprezintă materiale minerale neprelucrate și care însoțesc nisipul extras din carieră (argilă, bentonită), fie de proveniență artificială, caz în care se utilizează componente secundare din diverse industrii (uleiuri, grăsimi, colofoniu, gudron, dextrină, melasă, leșie sulfitică etc.) sau produse obținute prin sinteză (bachelită).

Adaosuri pentru amestecurile de formare. În afară de materialele de bază care intră în compoziția amestecului, nisip și lianți, în scopul îmbunătățirii amestecurilor de formare și a evitării aderării acestora la suprafața pieselor turnate, se mai utilizează diverse adaosuri cum sunt pentru: mărirea rezistenței mecanice și plasticității (dextrina, melasa, leșia sulfitică, făina de secară, cartofi etc.); mărirea compresivității (rumeguș, turbă, pleavă); evitarea aderențelor (cărboni fin măcinați, pudră, țitei, vopsele etc.).

În turnătoriile moderne sunt prevăzute stații centrale de preparare a amestecurilor pentru forme și miezuri. După prepararea componentelor, se trece la amestecarea în proporții determinate a acestora, urmată de afânarea amestecului obținut și transportarea lui la locurile de utilizare.

Ramele de formare sunt cadre, de regulă metalice, în care se execută formarea pentru turnare. Ramele de formare protejează forma împotriva deteriorării în timpul formării, al transportului și al turnării și permit asamblarea corectă a celor două sau a mai multor părți de formă, înainte de turnare. Ele trebuie să fie ușoare și rezistente.



ELEMENTE TEORETICE

Materiale folosite la formarea manuală

În general, ramele de formare se execută din fontă, din oțel sau din aliaje de aluminiu. În *Figura 1.4* se prezintă o pereche de rame de formare din fontă. Aceste rame se folosesc numai pentru forme cu dimensiuni mici, când amestecul de formare are aderență suficientă la pereții ramei pentru ca să nu se desprindă la ridicarea acesteia.

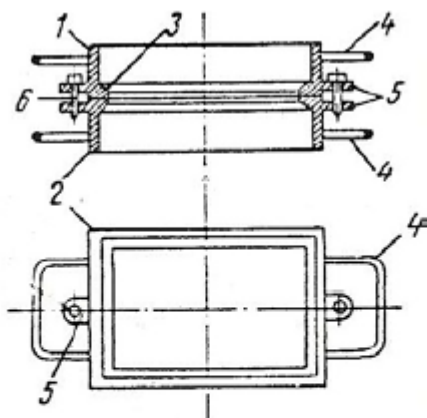


Figura 1.4. Rame de formare din fontă:

- 1 – rama superioară; 2 – rama inferioară; 3 – bordură interioară;
- 4 – mâner; 5 – ureche; 6 – cep de ghidare.

Ramele de formare mari se prevăd la interior cu nervuri transversale pentru consolidarea amestecului de formare. În planul de separație a ramelor, o bordură interioară contribuie la menținerea amestecului de formare. Pentru manevrarea ramelor se folosesc mânere de prindere, iar pentru asamblarea lor, cepuri de ghidare care se assemblează cu urechile ramelor. Ramele de formare se execută corespunzător modelului care le folosește la formare; ele trebuie să urmărească, în linii mari, conturul modelului (pentru modele rotunde, rame de formare rotunde) și să nu fie decât puțin mai mari decât acesta.



ELEMENTE TEORETICE

Scule folosite la formarea manuală

Sculele de formare sunt sculele folosite de formator (operator) la executarea operației de formare. Pe lângă sculele folosite la alte operații și care sunt folosite și de formator (de exemplu: *lopata plană* pentru omogenizarea amestecurilor de formare și pentru umplerea ramelor de formare; *sita manuală* pentru cernerea amestecurilor de model; *pensula*; *ciocanul* de lemn sau cauciuc; *linialul* pentru nivelarea suprafețelor etc.), la formare se folosesc și *scule specifice*, cum sunt:

- *bătătoarele* de diferite forme și mărimi, acționate manual sau mecanic, se folosesc la îndesarea amestecului de formare. În laborator se utilizează bățătoarele acționate manual, *Figura 1.5*, care au unul din capete în formă de pană, iar celălalt capăt cilindric sau sferic. Pentru baterea amestecului se folosesc succesiv capătul în formă de pană și cel rotund. Capătul în formă de pană se folosește exclusiv la baterea amestecului în părțile înguste ale formei, în apropierea pereților formei și a nervurilor. Bătătoarele lungi se folosesc la lucrul pe sol, iar cele scurte, la lucrul pe masă;

- *cuiete extractoare*, numite și extractoare ascuțite, *Figura 1.6(a)*, sau *cârligele extractoare* (extractoare cu șurub), *Figura 1.6(b)*, se folosesc pentru *demulare* (extragerea modelelor din forme);

- *vergelele de oțel* drepte sau curbate și *ăcele de aerisire*, de oțel, *Figura 1.6(c)*, se folosesc la executarea orificiilor de aerisire;

- *truela* sau *mistria plană*, *mistria ascuțită* (inimioară) și *mistria masivă*, *Figura 1.6(d, e, f)*, se folosesc la netezirea suprafețelor mari și la săparea de canale mari în formă;



ELEMENTE TEORETICE

Scule folosite la formarea manuală

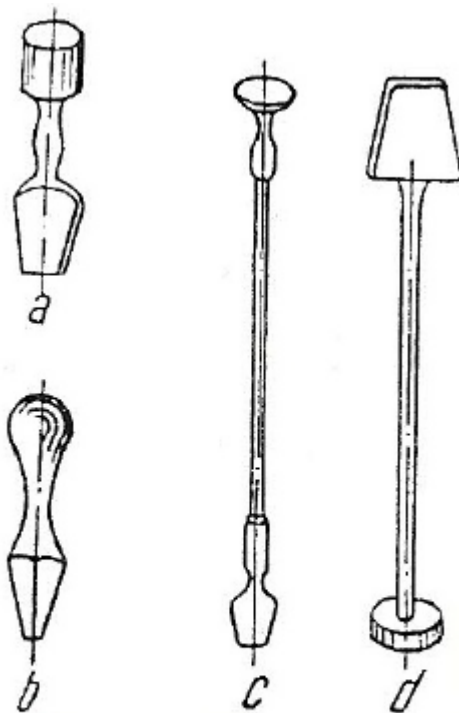


Figura 1.5. Bătătoare manuale:

- (a) și (b) – scurte;
(c) și (d) – lungi.

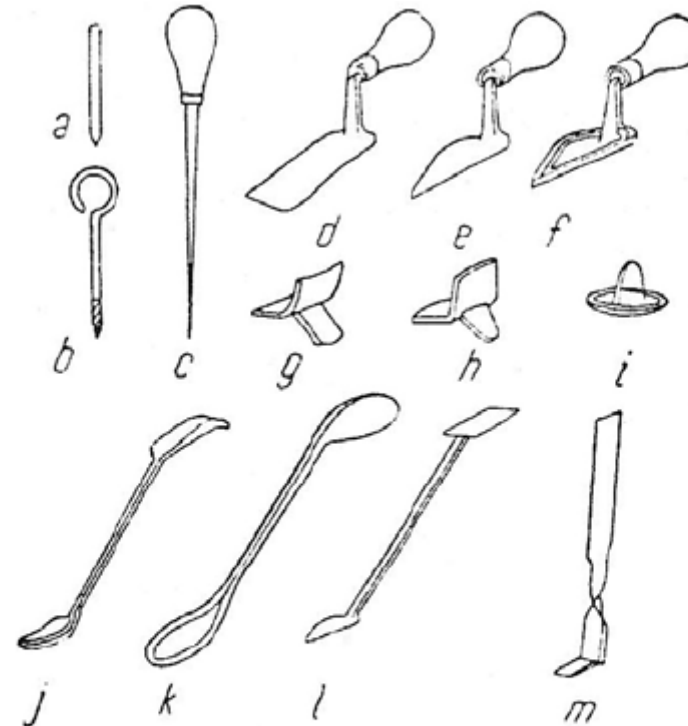


Figura 1.6. Trusa de scule de formare:

- (a) – cui extractor; (b) – cârlig extractor; (c) – ac de aerisire; (d) – truelă; (e) – mistrie ascuțită; (f) – mistrie masivă; (g) – netezitor curb; (h) – netezitor unghiular; (i) – netezitor sferic; (j) – es; (k) – lingură; (l) – lanțetă (m) – croșetă.

- *netezitoarele profilate, Figura 1.6(g, h, i), de fontă, de oțel sau de bronz, se folosesc la netezirea suprafețelor cu profiluri diferite. Se deosebesc: netezitoare cilindrice, netezitoare unghiulare plane, netezitoare unghiulare cilindrice concave sau convexe, netezitoare curbate pentru racordări și netezitoare frontale;*



ELEMENTE TEORETICE

Scule folosite la formarea manuală

- *esurile, Figura 1.6(j)*, se utilizează la finisarea canalelor profunde și înguste. Se deosebesc: *esuri curbate*, cu capetele plane sau rotunde pentru finisarea pereților laterali ai canalelor; *esuri drepte*, cu fața de lucru plană sau convexă pentru finisarea fundului plan al canalelor;
- *lingurile, Figura 1.6(k)*, se utilizează la finisarea suprafețelor curbe ale canalelor și racordărilor; ele au un capăt oval și unul eliptic;
- *lanțetele, Figura 1.6(l)*, au două capete eliptice, drepte și subțiri și se utilizează la tăierea și netezirea unor suprafețe mici, inaccesibile cu netezitoarele;
- *croșetele, Figura 1.6(m)*, se utilizează la tăierea și îndepărtarea amestecului rămas în canalele înguste sau în concavitățile formeii; ele au un capăt rotund sau cu lanțetă și unul în unghi drept sau cu călcâi.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

Formarea în rame, cu model se execută în două sau mai multe rame de formare, de diferite dimensiuni și construcții, folosind modele de lemn sau metalice, și este procedeul de formare practicat cel mai frecvent.

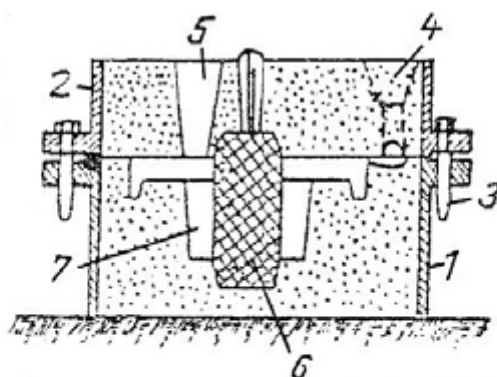


Figura 1.1. Formarea în rame cu model dintr-o singură bucată:

1 – ramă de formare inferioară; 2 – ramă de formare superioară; 3 – cep de ghidare; 4 – pâlnie de turnare; 5 – maselotă deschisă; 6 – miez; 7 – cavitatea formei.

Modelul folosit poate fi executat dintr-o singură bucată, caz în care se formează în rama superioară rețeaua de turnare și eventual maselotele, *Figura 1.7*, sau din părți distincte, separate prin unul sau mai multe plane de separație, care coincid cu planul de separație al formei, *Figura 1.1(a)*. Executarea modelului demontabil este impusă de necesitatea scoaterii acestuia din formă, după batere.

În ambele cazuri, principalele faze de formare sunt prezentate în *Figura 1.8*.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

Astfel, conform figurii, avem:

1 – așezarea modelului *m* sau a semimodelului inferior (cu găuri de centrare) pe planșetă;

2 – așezarea ramei inferioare (cu urechi de centrare) pe planșetă, cu urechile pentru știfturi în jos, centrată cu modelul și pudrarea feței modelului cu o pudră de izolație care poate fi: *pudră de licopodiu* obținută din sporii algei *Licopodium clavatum* sau *praf de cuarț* (marșalita) obținut prin măcinarea fină a nisipului cuarțos. Cu aceeași pudră se pudrează și planul de separație al formei, respectiv planșeta pe care se materializează inițial acesta. Pudra are rolul de a preveni aderența amestecului de formare la model și aderența dintre cele două semiforme;

3 – cu ajutorul sitei se cerne peste model un amestec afânat numit *de model* sau *de perete*, în grosime de 20÷30 mm și îndesarea amestecului de model peste și în jurul modelului, în majoritatea cazurilor cu vârfurile degetelor, insistând mai ales asupra părților mai complicate ale modelului;

4 – se adaugă cu lopata amestec de umplutură în straturi de până la 120 mm grosime;

5 – fiecare strat se bate cu partea ascuțită a bătătorului, începând de la margini către centru (pentru formarea legăturii cu ramele) și nu prea insistent deasupra modelului pentru a nu înrăutăți permeabilitatea la gaze a formei;

6 – ultimul strat cu vârf de la partea superioară a ramei se bate cu partea lată a bătătorului;



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

7 – se rade surplusul de amestec de formare cu ajutorul unei rigle de lemn sau metal (linial) care se ghidează pe marginea superioară a ramei. Se obține astfel o suprafață plană în vederea așezării pe planșetă sau pe patul de turnare;

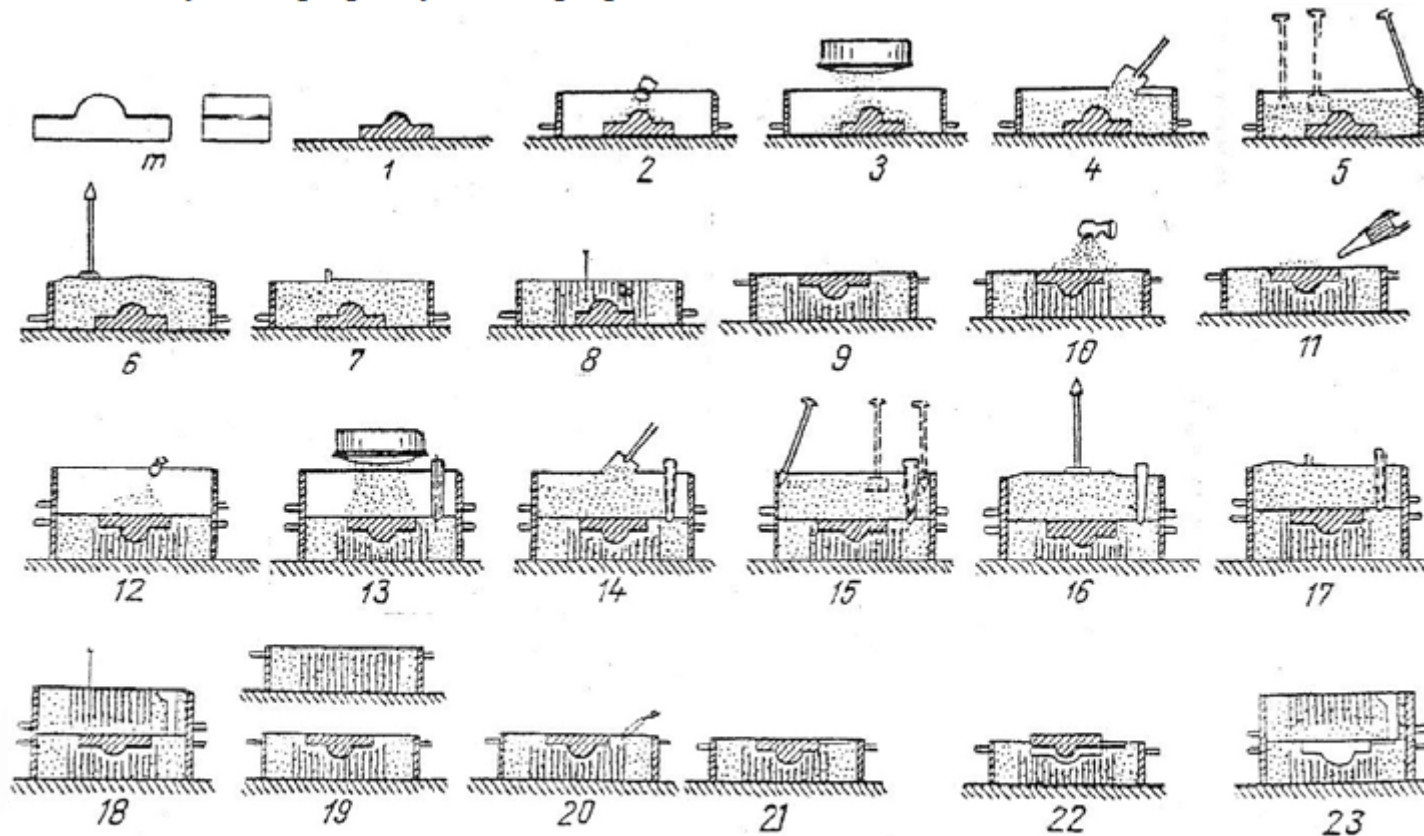


Figura 1.8. Succesiunea fazelor de lucru la formarea în două rame, cu model:
m – model; 1, 2, ..., 22 – fazele formării; 23 – forma pregătită pentru turnare.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

8 – practicarea orificiilor de aerisire cu ajutorul acului de oțel. Aceste orificii, care servesc pentru evacuarea gazelor degajate în timpul turnării și solidificării, se execută deasupra modelului, până la 20÷30 mm de suprafața acestuia, pentru a nu-l deteriora;

9 – folosindu-se mânerul ramei, se întoarce semiforma inferioară cu 180° în plan vertical și se așează pe planșetă cu suprafața de separație în sus, după care se pot efectua și unele reparații, cu ajutorul sculelor de formare, dacă este cazul;

10 – pudrarea modelului și a suprafeței de separație. În cazul utilizării modelelor secționate, înainte de pudrare, se centrează semimodelul superior (cu știfturi de centrare) peste cel superior;

11 – suflarea ușoară a pudrei pe suprafața de separație pentru uniformizare și obținerea unui strat subțire;

12 – montarea ramei superioare, prin ghidare pe cepuri (știfturi) în găurile din urechile ramei inferioare, așezându-se totodată și modelele rețelei de turnare ale răsuflătorilor sau maselotelor. Se recomandă canale de alimentare scurte, care se sapă direct în procesul formării, iar răsuflătorile să se amplaseze în partea cea mai înaltă a piesei;



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

13, 14, 15, 16 și 17 – repetarea fazelor 3, 4, 5, 6 respectiv 7, pentru realizarea semiformei superioare;

18 – tăierea cu lanțeta și formarea pâlniei de turnare, extragerea modelelor rețelei de turnare și ale răsuflătorilor și practicarea orificiilor de aerisire;

19 – ridicarea cu atenție și întoarcerea cu 180° în plan vertical a semiformei superioare și așezarea acesteia pe planșetă. Nu se admit neteziri sau planări în suprafața de separație pentru că se deteriorează astfel etanșarea cavității formei, riscând curgerea metalului la turnare prin planul de separație;

20 – în planul de separație al semiformei inferioare se taie cu lanțeta canalele de alimentare, care fac legătura între piciorul pâlniei de alimentare și cavitatea formei prin intermediul canalului de distribuție și colectare a zgurii din semiforma superioară în planul de separație. La fel se procedează și în cazul când răsuflătorile sunt practicate nu direct deasupra cavității formei, ci lateral, în planul de separație;

21 – netezirea canalelor de alimentare tăiate, eventual ale răsuflătorilor;



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală în rame, cu model

22 – demularea – extragerea semimodelelor sau modelelor din forme. Pentru aceasta, întâi se umezește amestecul de formare pe conturul modelului, în planul de separație, cu o pensulă și apă pentru evitarea deteriorării muchiilor vii ale cavității forme. Folosind ciocanul de mână (obișnuit din lemn sau cauciuc) se introduce cuiul extractor în orificiul special din model sau semimodel și se bate ușor cu ciocanul în plan orizontal, în direcții opuse, pentru a forma un mic joc între model și formă. După aceasta, cu atenție, se extrag modelele perfect pe verticală dintr-o semiformă sau, după caz, din ambele semiforme. În eventualitatea unor deteriorări ale cavității în timpul demulării, cu ajutorul sculelor din trusă se execută reparațiile necesare;

23 – asamblarea formeii în vederea turnării. Dacă este cazul, se așează miezul sau miezurile în semiforma inferioară prin intermediul mărcilor. În continuare, se execută rabaterea semiformeii superioare cu suprafața de separație în jos și aducerea ei în poziția de asamblare, care se face în afara semiformeii inferioare și nu deasupra ei pentru a nu cădea eventual amestec de formare peste semiforma inferioară, urmând asamblarea și consolidarea ramelor în vederea turnării. Consolidarea este necesară pentru ca semiforma superioară să nu fie ridicată de presiunea metalostatică la turnare. După caz, formele se usucă sau se vopsesc, uneori pudrându-se numai cu pudră refractară.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală a miezurilor în cutii de miez

Miezurile sunt folosite pentru obținerea golurilor interioare în piesele turnate, goluri care nu pot fi obținute cu ajutorul modelelor. În timpul turnării miezurile sunt înconjurate din toate părțile de metal lichid, fiind astfel supuse la solicitări mai mari; de aceea ele trebuie să fie executate din amestecuri de formare de calitate superioară. Ele trebuie să prezinte rezistență mecanică maximă și permeabilitate, compresibilitate, refractaritate mai mari decât restul formei. De asemenea, miezurile nu trebuie să degaje o cantitate mare de gaze în timpul turnării. Pentru a întruni aceste calități, miezurile, înainte de montare în forme, se usucă. Miezurile se execută din amestec special numit *amestec de miez* care prezintă proprietăți superioare amestecurilor de formare. Amestecurile de miez pot fi: amestecuri cu lianți organici; amestecuri cu liant silicat de sodiu ($\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$); amestecuri cu lianți rășini sintetice. Amestecurile cu liant argilă, bentonită, ciment se folosesc pentru miezurile mai puțin solicitate. Folosirea lianților organici dă miezurilor o rezistență mai ridicată, dar de multe ori acești lianți sunt scumpi și deficitari. Dintre aceștia, cel mai bun este uleiul de in, dar se mai folosesc leșia sulfică, melasa și dextrina.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală a miezurilor în cutii de miez

În procesul tehnologic de executare a miezurilor, uscarea necesită un timp destul de mare funcție de mărimea miezurilor, de compoziția amestecului de miez, fiind de ordinul orelor. Durata mare de uscare, micșorează productivitatea, necesitând în același timp cheltuieli mari. Din această cauză s-a căutat să se mărească productivitatea procesului pe următoarele căi: folosirea amestecurilor cu liant silicat de sodiu; folosirea amestecurilor bentonitice, care permit turnarea pe crud; folosirea de rășini sintetice; uscarea folosind curenți de înaltă frecvență. Acestea însă, au dezavantajul că sunt costisitoare.

Miezurile pot fi executate manual (în cazul fabricației de unicate și de serie mică, cu ajutorul cutiilor de miez ori cu șabloane de rotație sau de translație) sau mecanizat (în cazul fabricației de serie mare) cu mașini speciale de miezuit.

Miezurile se montează în forme pe niște prelungiri numite *mărci*. Pentru mărirea rezistenței mecanice, în special cele cu profil complicat sau de dimensiuni mari, se armează. Armătura este un schelet metalic, din sârmă, pentru miezurile mici sau chiar un cadru metalic pentru miezurile mari. Armăturile, de obicei, se așează central în miez și ele trebuie să permită: rezistență mecanică și rigiditate mare; compresibilitate bună; executarea canalelor de aerisire; extragerea ușoară din piesele turnate. Capetele armăturii trebuie să pătrundă în mărci, dar pentru a nu stânjeni montarea în formă trebuie să fie cu 2÷3 mm mai scurte decât mărcile. Armătura nu trebuie să fie așezată aproape de suprafața miezului deoarece stratul de amestec se poate rupe, iar armătura poate face corp comun cu piesa turnată. Pentru mărirea permeabilității, în amestec se practică orificii de aerisire.



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală a miezurilor în cutii de miez

În laborator studenții vor forma manual miezuri mici din amestec de miez cu liant argilă. Pentru astfel de miezuri, temperatura de uscare nu trebuie să depășească 350°C, deoarece la temperaturi de peste 400°C, apa de constituție din argilă ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se pierde intens, făcând să dispară proprietățile de legare ale argilei.

Formarea manuală a miezurilor în cutii de miez este cel mai frecvent procedeu de formare a miezurilor.

Fazele principale ale formării unui miez simplu sunt următoarele:

- centrarea și închiderea cutiei de miez (formată, de regulă, din două semicutii cu găuri și știfturi de centrare);
- solidarizarea celor două semicutii cu un dispozitiv de prindere și așezarea cutiei vertical, pe planșetă;
- introducerea în golul cutiei a armăturii, unsă în prealabil cu apă amestecată cu argilă, și apoi a amestecului de miez și îndesarea acestuia;



ELEMENTE TEORETICE

Formarea manuală a miezurilor în cutii de miez

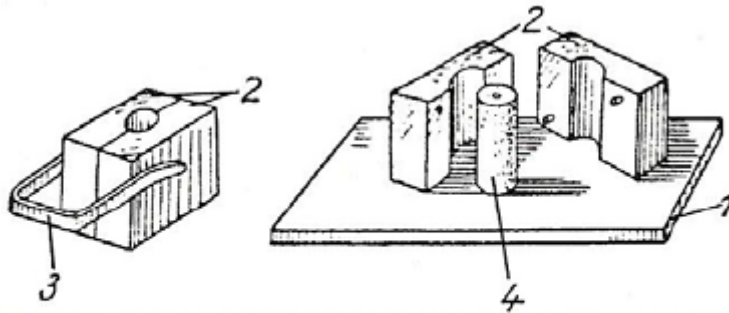


Figura 1.9. Formarea manuală a unui miez cilindric
1 – placă; 2 – semicutii; 3 – clemă; 4 – miez.

- netezirea părții superioare a miezului;
- executarea canalelor de aerisire în lungul miezului;
- așezarea cutiei de miez, orizontal pe planșetă și scoaterea dispozitivului de prindere;
- lovirea ușoară a cutiei (ciocănirea) pentru dislocarea miezului

și ridicarea semicutiei superioare (cu știfturi de centrare);

- întoarcerea semicutiei inferioare cu miezul pe o placă de uscare (cu profilul cavității identic cu al miezului), pe care rămâne miezul, *Figura 1.9.*

Pentru miezurile de complexitate mare se folosesc cutii de miez executate din mai multe piese demontabile sau se execută miezurile din două jumătăți care apoi se lipesc cu argilă și se usucă.



EXPERIMENT

Experimentul constă în executarea unei forme în rame, cu model secționat și formarea miezului necesar, din amestec de miez cu liant argilă, într-o cutie de miez. Se urmărește consumul de materiale și norma de timp pentru fiecare operație.



EXPERIMENT

Condiții experimentale

În vederea efectuării lucrării practice sunt necesare:

- garnitura de model, formată din: modelul secționat, cutia de miez și modelul rețelei de turnare;
- amestec de formare și de miez;
- rame de formare, în pereche, de dimensiuni apropiate cu cele ale modelului;
- trusa de scule de formare specifice și scule generale;
- șubler și ruletă pentru măsurarea dimensiunilor;
- balanță de laborator;
- cronometru.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

Partea practică a lucrării se desfășoară prin parcurgerea etapelor, operațiilor și fazelor care fundamentează din punct de vedere aplicativ, elementele teoretice cuprinse în prezentarea procedeului formării manuale a formelor și miezurilor cu modele și cutii de miez.

- ♦ *Primirea temei și studiul acesteia.*
- ♦ *Pregătirea locului de muncă.* În această etapă se verifică și se plasează la îndemână materialele și sculele necesare formării, precum și instrumentele de măsură și control.
- ♦ *Executarea formei* urmărind fazele formării manuale în rame, cu model, prezentate în paragraful 1.1.4, cu utilizarea unui miez uscat.
- ♦ *Executarea miezului* urmărind fazele formării manuale a miezului în cutii de miez, prezentate în paragraful 1.1.5.
- ♦ *Efectuarea măsurătorilor* pentru dimensiuni mase și timp pe parcursul execuției formei și miezului.



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Datele experimentale obținute în urma formării se centralizează în *Tabelul 1.1*.



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, studenții vor participa direct la experiment utilizând traseul tehnologic studiat. Toți studenții vor prelua și centraliza rezultatele experimentale și vor executa schițe ale fazelor formării pentru forma și miezul obținute.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării. Un exemplu de referat este prezentat în **Anexa 1**.



APLICAȚII

Tabelul 1.1. Rezultate experimentale.

Caracteristici tehnologice			Unitatea de măsură	Valoarea
Garnitura de model	Modelul	Material	–	
		Dimensiuni de gabarit, $l_m \times b_m \times h_m$	mm	
		Complexitatea	–	
	Cutia de miez	Material	–	
		Dimensiuni de gabarit, $l_c \times b_c \times h_c$	mm	
		Complexitatea	–	
	Modelul rețelei de turnare	Material	–	
		Dimensiuni de gabarit, $l_r \times b_r \times h_r$	mm	
		Complexitatea	–	
Material de formare	Amestec de formare	Nisip	Denumirea (cariera)	–
			Cantitatea	%
		Lianți	Denumirea	–
			Cantitatea	%
		Adaosuri	Denumirea	–
			Cantitatea	%
		Apă	Cantitatea	%
	Amestec de miez	Nisip	Denumirea (cariera)	–
			Cantitatea	%
		Lianți	Denumirea	–
			Cantitatea	%
		Adaosuri	Denumirea	–
			Cantitatea	%
		Apă	Cantitatea	%
Ramele de formare	Superioară	Material	–	
		Dimensiuni de gabarit, $l_s \times b_s \times h_s$	mm	
	Inferioară	Material	–	
		Dimensiuni de gabarit, $l_i \times b_i \times h_i$	mm	
Forma	Masa totală		kg	
	Durata de execuție	Rama inferioară	min	
		Rama superioară	min	
		Demulare	min	
		Reparații	min	
		Asamblare	min	
		Durata totală	min	
Miezul	Masa totală		kg	
	Durata de execuție	Asamblarea cutiei	min	
		Formarea miezului	min	
		Extragerea miezului	min	
		Durata totală	min	



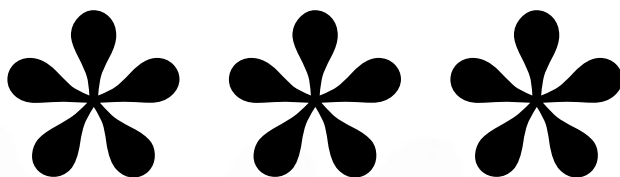
ANEXA 1

Rezultate experimentale obținute în urma formării

Caracteristici tehnologice				Unitatea de măsură	Valoarea
Garnitura de model	Modelul	Material		–	Lemn de tei
		Dimensiuni de gabarit, $l_m \times b_m \times h_m$		mm	$150 \times 100 \times 100$
		Complexitatea		–	Medie
	Cutia de miez	Material		–	Lemn de tei
		Dimensiuni de gabarit, $l_c \times b_c \times h_c$		mm	$150 \times 80 \times 80$
		Complexitatea		–	Medie
	Modelul rețelei de tumare	Material		–	PVC
Dimensiuni de gabarit, $l_r \times b_r \times h_r$		mm	$160 \times 32 \times 32$		
Complexitatea		–	Medie		
Material de formare	Amestec de formare	Nisip	Denumirea (cariera)	–	Granulație medie, de Aghireș
			Cantitatea	%	78
		Lianți	Denumirea	–	Argilă
			Cantitatea	%	16
		Adaosuri	Denumirea	–	–
			Cantitatea	%	–
	Amestec de miez	Apă	Cantitatea	%	6
			Nisip	Denumirea (cariera)	–
		Cantitatea		%	78
		Lianți	Denumirea	–	Argilă
			Cantitatea	%	14
		Adaosuri	Denumirea	–	Grafit
Cantitatea	%		2		
Ramele de formare	Superioară	Material		–	OL 37 STAS 500/2-80
		Dimensiuni de gabarit, $l_s \times b_s \times h_s$		mm	$400 \times 300 \times 120$
	Inferioară	Material		–	OL 37 STAS 500/2-80
		Dimensiuni de gabarit, $l_i \times b_i \times h_i$		mm	$400 \times 300 \times 120$
Forma	Masa totală			kg	12
	Durata de execuție	Rama inferioară		min	7
		Rama superioară		min	8
		Demulare		min	4
		Reparații		min	6
		Asamblare		min	2
		Durata totală		min	27
Miezul	Masa totală			kg	0,8
	Durata de execuție	Asamblarea cutiei		min	1
		Formarea miezului		min	6
		Extragerea miezului		min	2
		Durata totală		min	9

Fazele executării manuale a formei se prezintă în conformitate cu Figura 1.8.

Fazele executării manuale a miezului se prezintă în conformitate cu Figura 1.9.





TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Determinarea fluidității materialelor metalice



DETERMINAREA FLUIDITĂȚII MATERIALELOR METALICE

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare privind determinarea fluidității materialelor metalice precum și factorii care influențează fluiditatea, metodele, probele și modul de apreciere a fluidității.



ELEMENTE TEORETICE

Posibilitatea obținerii de piese turnate, cu pereți subțiri, de formă complexă și de mari dimensiuni, compacte, fără defecte, se predetermină prin cunoașterea proprietăților de turnare ale metalelor și aliajelor. Principalele proprietăți de turnare ale aliajelor lichide și în curs de solidificare sunt:

- *fluiditatea*, care reprezintă capacitatea metalelor și aliajelor, în stare lichidă, de a pătrunde în formă prin sistemul de turnare și de a umple cât mai bine cavitatea formei, respectiv a tuturor detaliilor de contur a piesei de fabricat;



ELEMENTE TEORETICE

- *contractia*, care reprezintă proprietatea metalelor și aliajelor turnate ca la solidificare și răcire să-și micșoreze volumul și implicit elementele liniare și de suprafață. Contractia în piesele turnate poate conduce la unele defecte, cum sunt: retasuri, fisuri, deformații;

- *tendința de fisurare*. În piesele turnate, datorită solidificării neuniforme în pereții groși și subțiri ai piesei și frânării contractiei din partea formei, iau naștere *tensiuni interne*. Aceste tensiuni sunt cu atât mai mari cu cât formele și miezurile sunt mai incompresibile. Dacă tensiunea creată în piesă depășește limita de rupere a materialului, atunci în piesă pot să apară fisuri la cald sau la rece, iar dacă metalul sau aliajul are suficientă rezistență și plasticitate, atunci piesa se poate deforma, deci se abate de la forma geometrică dorită;



ELEMENTE TEORETICE

- *tendința de segregare*, care reprezintă neomogenitatea chimică a metalului sau aliajului pe grosimea piesei;

- *tendința de absorbție a gazelor*, care reprezintă proprietatea materialelor metalice de a dizolva, la temperaturi înalte, o mare cantitate de gaze provenite din mediu. La solidificare și răcire, solubilitatea la gaze se micșorează, gazele ies din soluție formând bule care pot ajunge la suprafață, dar pot rămâne și în corpul piesei, formând defectul numit *sufleură*.



ELEMENTE TEORETICE

Aceste proprietăți tehnologice de turnare ale materialelor metalice în stare lichidă și în curs de solidificare și răcire, trebuie bine cunoscute atât de proiectant în momentul proiectării piesei turnate, cât și de turnător, în momentul realizării practice a piesei prin turnare, pentru a se obține în final o piesă care să corespundă cerințelor practice de exploatare și care să fie fără defecte din punct de vedere funcțional.



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Prin fluiditatea materialelor metalice se consideră capacitatea acestora de a curge în stare lichidă și de a umple forme cu pereți subțiri. O capacitate de curgere bună, deci fluiditate ridicată, este de dorit pentru aliaje, deoarece asigură umplerea completă a cavității formeii până în cele mai mici detalii, permite ieșirea la suprafață a gazelor, conducând astfel la obținerea unor structuri mai compacte și, de asemenea, retasuri amplasate la suprafață.



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Fluiditatea materialelor metalice pentru turnătorie depinde de trei categorii de factori, care, în principal, sunt:

- *proprietățile intrinseci ale materialului metalic;*
- *tehnologia de turnare;*
- *proprietățile formei de turnare.*



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Proprietățile intrinseci ale materialului metalic

- *vâscozitatea* este proprietatea inversă fluidității. Cu cât vâscozitatea materialului metalic, η , este mai ridicată, cu atât fluiditatea, φ , este mai scăzută. Astfel, $\varphi = \eta^{-1}$;

- *temperatura intervalului de cristalizare*. Metalele pure și aliajele care se solidifică la temperatură constantă (aliaje eutectice), posedă cea mai bună fluiditate, superioară celorlalte aliaje, care formează soluții solide și care se solidifică într-un interval de temperatură determinat;



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Proprietățile intrinseci ale materialului metalic

- *tensiunea superficială*. Cu creșterea tensiunii superficiale, fluiditatea scade, și cu atât mai mult, cu cât canalul de umplere a formei este mai îngust. Tensiunea superficială, însă, mărește calitatea suprafeței piesei turnate prin nepătrunderea metalului în spațiile intergranulare capilare ale amestecului de formare;

- *conductivitatea termică*. Cu creșterea conductivității termice a materialului metalic care se toarnă, crește fluiditatea.



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Tehnologia de turnare

- *temperatura de turnare* este principalul factor de mărire a fluidității, în condiții date. Totuși, temperatura de turnare nu poate fi mărită oricât, datorită măririi consumului energetic pe de o parte și fenomenelor de oxidare și ardere, pe de altă parte. Temperatura de turnare recomandată este cu $100\div 300^{\circ}\text{C}$ mai mare decât temperatura de topire;

- *viteza de turnare* influențează fluiditatea în sensul că odată cu mărire acesteia fluiditatea se îmbunătățește;



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Tehnologia de turnare

- *dimensiunile și amplasarea sistemului de turnare.* Odată cu mărirea dimensiunilor rețelei de turnare (atât cât este permis) fluiditatea crește. Proiectarea și amplasarea rețelei de turnare se face ținând seama și de fluiditatea materialului care se toarnă. Astfel, canalele de alimentare atacă piesa, de regulă, în zonele cele mai subțiri, iar în cazul unei fluidități mici se prevăd mai multe canale de alimentare.



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Proprietățile formeii de turnare

- *conductivitatea termică a materialului formeii.*

Creșterea conductivității termice a formeii înrăutățește fluiditatea, de unde turnarea în forme din amestec de formare este mai sigură decât turnarea în forme metalice, unde răcirea rapidă poate îngheța (solidifica) prematur metalul, înainte de a umple detaliile subțiri;

- *umiditatea formeii* din amestec de formare trebuie să fie de 5÷7% pentru a nu influența negativ fluiditatea. Formarea peliculelor gazoase între pereții formeii și metal mărește fluiditatea;



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Proprietățile formeii de turnare

- *temperatura formeii*. Pentru o bună fluiditate, formeii metalice se preîncălzesc, în general, prin una sau două turnări anterioare;
- *calitatea suprafeței formeii*. Pereții rușoși scad fluiditatea prin creșterea frecărilor care frânează curgerea;
- *permeabilitatea formeii*. O bună permeabilitate conduce la mărirea fluidității prin scăderea contrapresiunii gazelor din cavitatea formeii.



ELEMENTE TEORETICE

Fluiditatea materialelor metalice

Determinarea fluidității materialelor metalice care se toarnă servește la: controlul capacității aliajului de a umple forma; controlul temperaturii aliajului la o compoziție chimică dată a acestuia, aceasta fiind necesară pentru determinarea temperaturii maxime admise la turnare în cazul pieselor la care din cauza configurației geometrice pot să apară fisuri la cald, precum și în cazul pieselor turnate cu suprafața curată; aprecierea calitativă a variațiilor de compoziție chimică și a variațiilor proprietăților aliajului în stare lichidă, pentru o temperatură dată, constantă, de turnare; alegerea aliajului cu fluiditatea cea mai bună dintr-o serie de aliaje echivalente din punct de vedere al celorlalte proprietăți.

Pentru a putea face comparație asupra fluidității unui aliaj a cărui parametri variază, trebuie ca turnarea să se facă în condiții identice.



ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

În laborator, fluiditatea se determină cu ajutorul unor probe tehnologice care pun în evidență capacitatea de curgere a metalului lichid prin diferite canale.

În principiu, metodele de determinare a fluidității se bazează pe turnarea metalului în forme-probă care au condiții dificile de umplere totală și măsurarea unei dimensiuni a părții din cavitate neumplute sau a părții umplute.



ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metodele de determinare a fluidității se împart, în principal, în două grupe:

- metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal cu secțiune descrescândă;

- metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă.



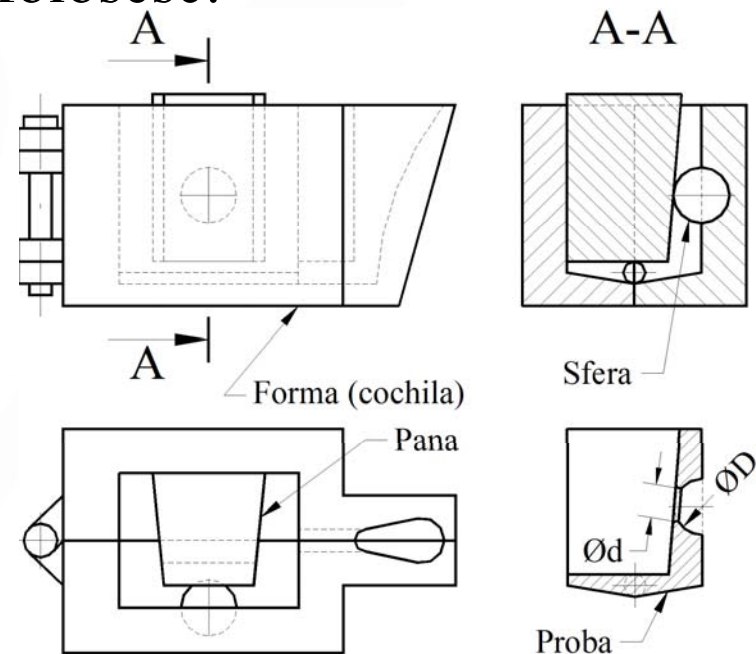
ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal cu secțiune descrescândă

În cadrul acestei metode se folosesc:

- *proba sferă*, figura alături, la care se toarnă într-o cavitate în care se află o sferă de diametru $D=20$ mm în contact cu o suprafață plană. Diametrul orificiului format de sferă, d , este o măsură inversă a fluidității.





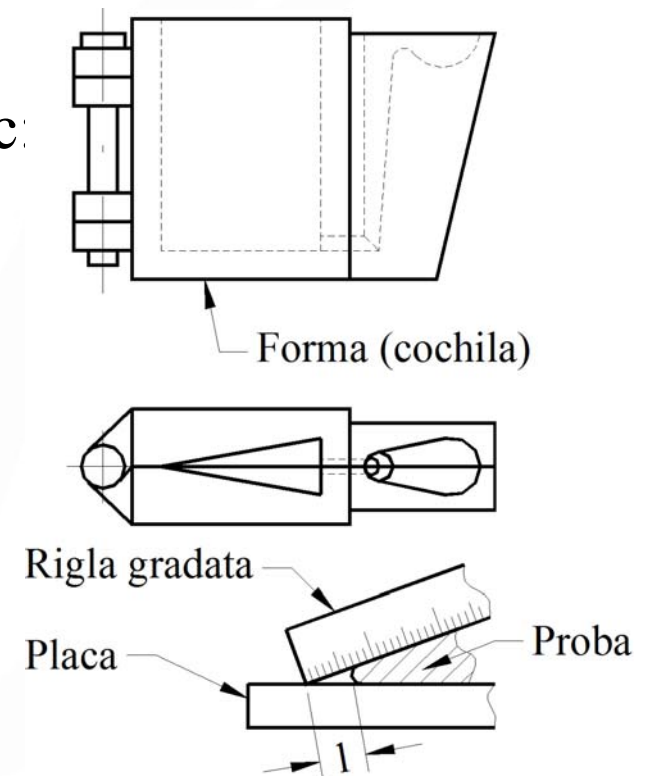
ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal cu secțiune descrescândă

În cadrul acestei metode se folosesc:

- *proba pană*, figura alăturată, la care se toarnă într-o cavitate în formă de pană cu unghi mic (20°) și se măsoară lungimea zonei neumplute de la vârful acestui unghi, l , dimensiune care reprezintă o mărime inversă a fluidității;





ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă

În cadrul acestei metode se folosesc:

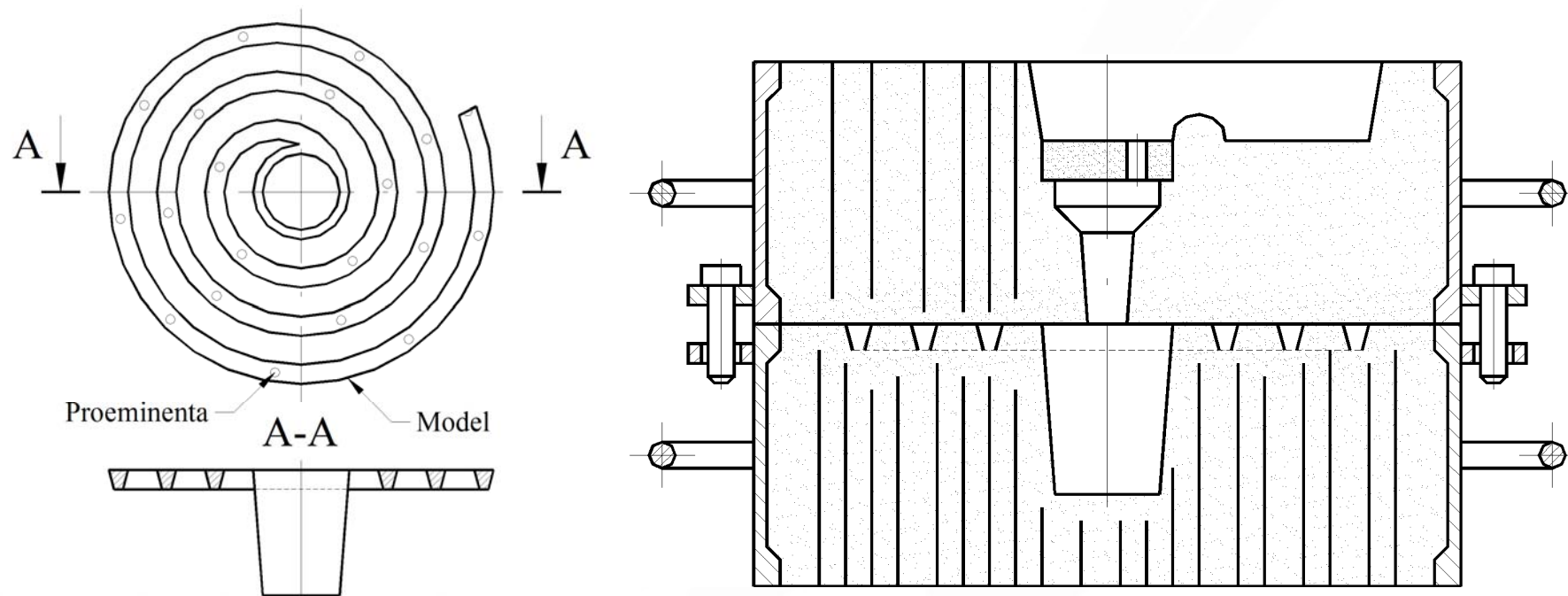
- *proba spirală* (proba CURRY), figura următoare, la care cavitatea este un canal dispus în spirală, pentru compactitate, cu secțiunea cvasitrapezoidală. Valoarea fluidității se consideră egală cu lungimea spiralei solidificate. În vederea aprecierii lungimii, pe model sunt dispuse niște proeminente la 50 mm. Lungimea spiralei poate fi de 1500 mm pentru fontă, 1000 mm pentru aluminiu etc.



ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă



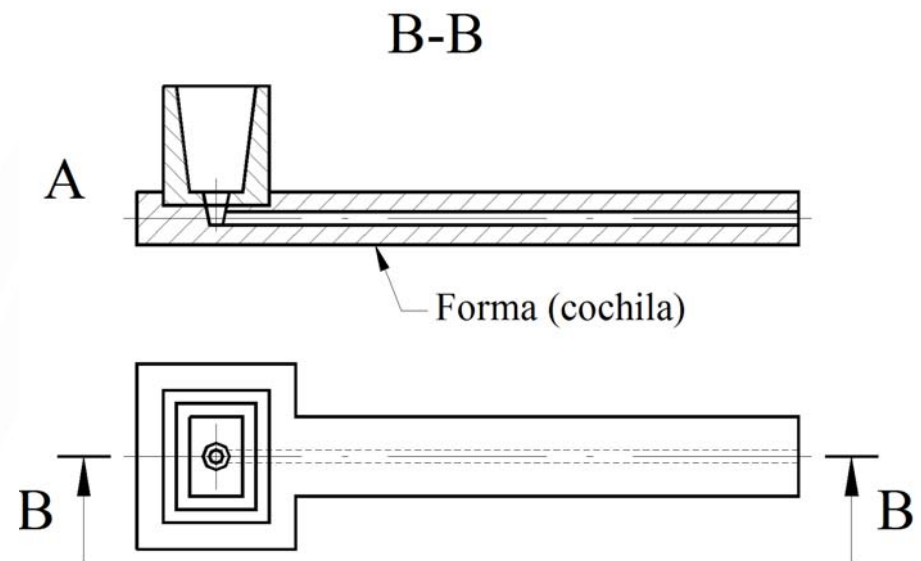


ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă

- *proba dreaptă* (proba RUFF), figura alăturată, la care cavitatea este un canal circular dispus liniar, cu diametrul de 5 mm și lungimea de 600 mm. Valoarea fluidității se consideră egală cu lungimea probei solidificate



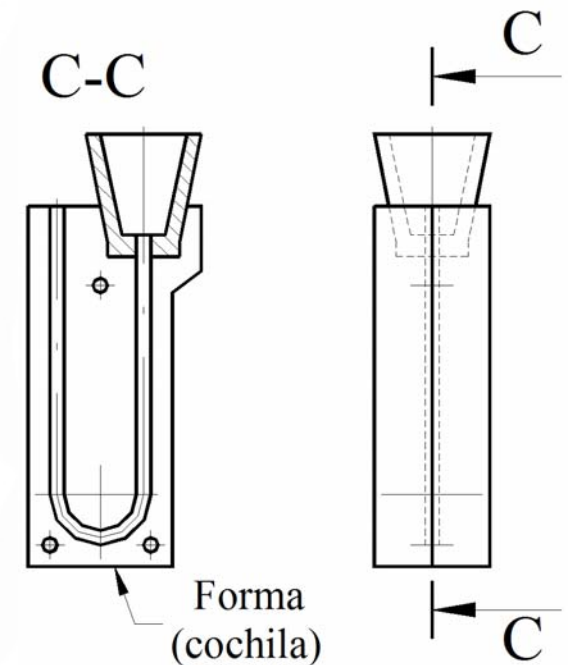


ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă

proba U (proba SAMARIN-NEHENDZI), figura alăturată, la care cavitatea este un canal circular cu diametrul de 6 mm, dispus vertical, în *U*. Valoarea fluidității se consideră egală cu lungimea probei solidificate. Pe același principiu, ca un caz particular, se bazează și *proba harpă*, care are mai multe canale verticale de secțiuni diferite și dispuse radial față de piciorul central de turnare.





ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a fluidității

Metoda bazată pe încetarea curgerii materialului metalic, datorată cristalizării, într-un canal lung cu secțiune constantă

Dintre aceste probe cea mai utilizată este proba spirală, caz în care se folosesc forme crude, uscate sau forme metalice (proba PORTEVIN).



EXPERIMENT

În laborator se determină fluiditatea aluminiului cu ajutorul probei spirale, turnarea făcându-se în forme crude.

Se efectuează trei încercări, la temperaturi de turnare diferite, punându-se în evidență variația fluidității cu temperatura.

Pași de urmat:

- condiții experimentale;
- traseul tehnologic;
- rezultate experimentale;
- prelucrarea rezultatelor experimentale;
- interpretarea rezultatelor experimentale.



EXPERIMENT

Condiții experimentale

În vederea efectuării lucrării practice sunt necesare:

- garnitura de model, formată din: modelul probei spirală, modelul rețelei de turnare (pâlnie cu cupă, piciorul pâlniei) și filtrul cilindric din amestec de formare cu trei orificii de $\varnothing 6$ mm pentru o curgere laminară;
- amestec de formare;
- rame de formare, în pereche, de dimensiuni apropiate cu cele ale modelului;
- trusa de scule de formare specifice și scule generale;
- cuptor electric pentru topit metalul;
- oală de turnare și scule pentru manevrarea acesteia.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

Partea practică a lucrării se desfășoară prin parcurgerea etapelor, operațiilor și fazelor care fundamentează din punct de vedere aplicativ, elementele teoretice cuprinse în prezentarea metodelor de determinare a fluidității.

- Primirea temei și studiul acesteia.
- Pornirea cuptorului și fixarea temperaturii de încălzire, [T°C].
- Pregătirea încărcăturii de aluminiu și introducerea ei în cuptor pentru topire.
- Pregătirea locului de muncă pentru formare. În această etapă se verifică și se plasează la îndemână materialele și sculele necesare formării.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

- Executarea formei, urmărind fazele formării manuale în rame, cu model.
- Montarea filtrului uscat în locașul pregătit în rețeaua de turnare.
- Așezarea formei crude obținute pe patul de turnare.
- Scoaterea creuzetului cu aluminiu topit din cuptor la atingerea temperaturii de încălzire prestabilite (cu 50°C mai mare decât temperatura de turnare).
- Turnarea aluminiului în formă.
- Dezbateră formei cu scoaterea probei spirală turnate, după răcirea acesteia sub temperatura de 80°C.
- Aprecierea lungimii probei spirale, L [mm].

Aceste etape se repetă pentru fiecare temperatură prestabilită pentru punerea în evidență a variației fluidității cu temperatura.



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Datele experimentale obținute în urma încercărilor de fluiditate se centralizează în tabelul următor.

Material metalic	Tipul probei	Proba 0		Proba 1		Proba 2		Proba 3	
		T_0 [°C]	L_0 [mm]	T_1 [°C]	L_1 [mm]	T_2 [°C]	L_2 [mm]	T_3 [°C]	L_3 [mm]

Temperatura T_0 corespunde temperaturii de topire solidificare la echilibru a aluminiului, $T_0 = 658^\circ\text{C}$, pentru care lungimea probei spirală este $L_0 = 0$ mm.



EXPERIMENT

Prelucrarea rezultatelor experimentale

Pe baza rezultatelor experimentale, într-un sistem de coordonate, pe hârtie milimetrică, se trasează variația fluidității $L[\text{mm}]$ în funcție de temperatura de turnare $T[^\circ\text{C}]$.

Se vor considera scări convenabile pentru fiecare parametru. De asemenea, se vor schița fazele executării formei de turnare.



EXPERIMENT

Interpretarea rezultatelor experimentale

În urma prelucrării rezultatelor experimentale se va urmări, în principal, evoluția fluidității cu temperatura, desprinzându-se unele concluzii care derivă din această evoluție.



APLICAȚII

Aplicații privind determinarea fluidității materialelor metalice.

Cod aplicație	Material metalic	Tipul probei	Proba 0		Proba 1		Proba 2		Proba 3	
			T_0 [°C]	L_0 [mm]	T_1 [°C]	L_1 [mm]	T_2 [°C]	L_2 [mm]	T_3 [°C]	L_3 [mm]
DFMM-1	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	730	270	780	670
DFMM-2	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	740	330	780	670
DFMM-3	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	750	400	780	670
DFMM-4	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	760	480	780	670
DFMM-5	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	730	270	790	780
DFMM-6	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	740	330	790	780
DFMM-7	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	750	400	790	780
DFMM-8	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	760	480	790	780
DFMM-9	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	730	270	800	900
DFMM-10	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	740	330	800	900
DFMM-11	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	750	400	800	900
DFMM-12	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	760	480	800	900
DFMM-13	Aluminiu	Spirală	658	0	720	220	750	400	790	780



APLICAȚII

Aplicații privind determinarea fluidității materialelor metalice.

Cod aplicație	Material metalic	Tipul probei	Proba 0		Proba 1		Proba 2		Proba 3	
			T_0 [°C]	L_0 [mm]	T_1 [°C]	L_1 [mm]	T_2 [°C]	L_2 [mm]	T_3 [°C]	L_3 [mm]
DFMM-14	Aluminiu	Spirală	658	0	720	220	760	480	800	900
DFMM-15	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	730	270	780	670
DFMM-16	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	740	330	780	670
DFMM-17	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	750	400	780	670
DFMM-18	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	760	480	780	670
DFMM-19	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	730	270	790	780
DFMM-20	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	740	330	790	780
DFMM-21	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	750	400	790	780
DFMM-22	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	760	480	790	780
DFMM-23	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	730	270	800	900
DFMM-24	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	740	330	800	900
DFMM-25	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	750	400	800	900
DFMM-26	Aluminiu	Spirală	658	0	710	180	760	480	800	900



ANEXĂ

Să se determine variația fluidității aluminiului cu temperatura de turnare și să se schițeze fazele executării formei de turnare pentru proba spirală. Cod aplicație: DFMM-11.

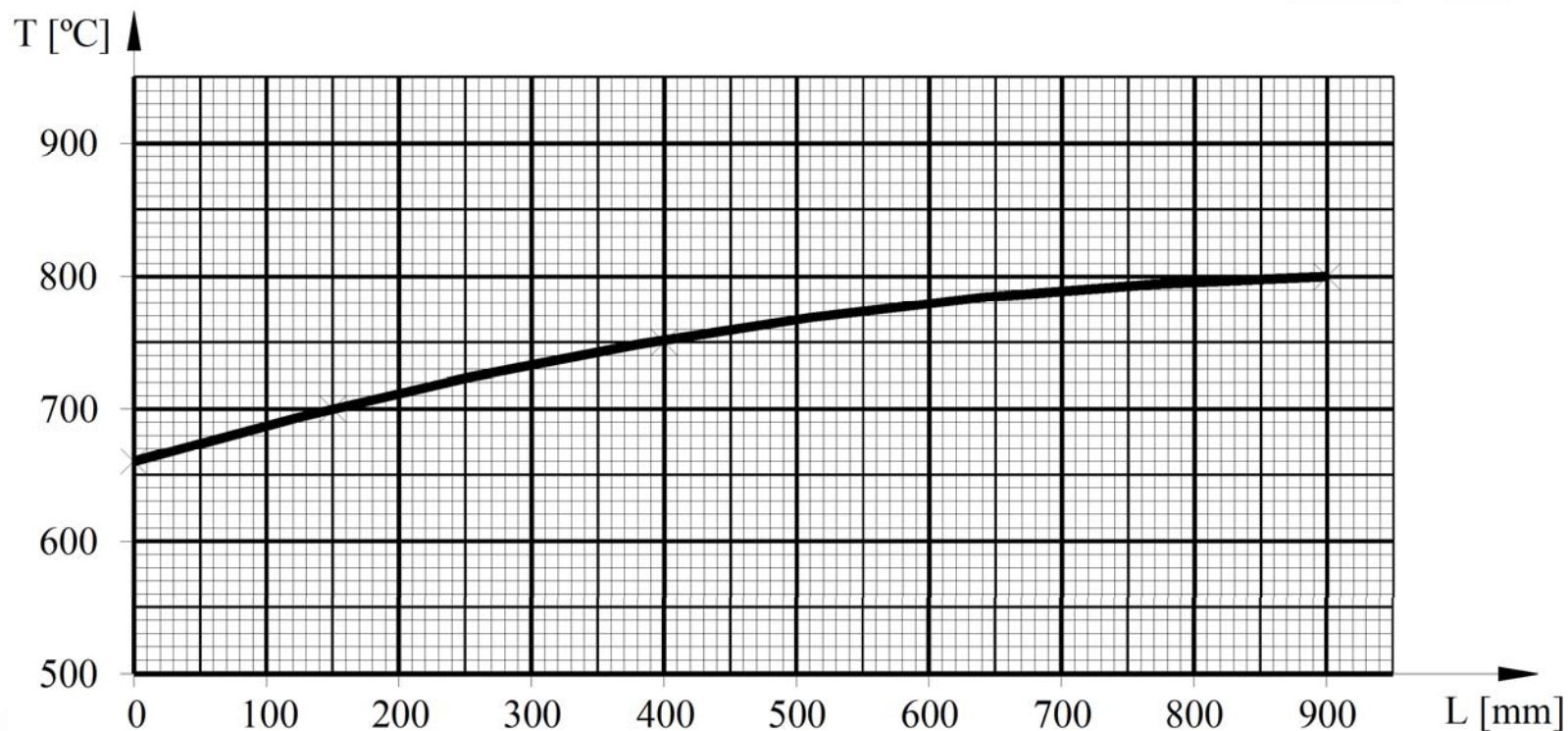
Date experimentale

Cod aplicație	Material metalic	Tipul probei	Proba 0		Proba 1		Proba 2		Proba 3	
			T_0 [°C]	L_0 [mm]	T_1 [°C]	L_1 [mm]	T_2 [°C]	L_2 [mm]	T_3 [°C]	L_3 [mm]
DFMM-11	Aluminiu	Spirală	658	0	700	150	750	400	800	900



ANEXĂ

Variația fluidității aluminiului cu temperatura de turnare





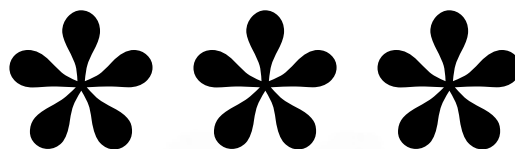
ANEXĂ

Fazele executării formei de turnare. Se schițează toate fazele executării formei de turnare.

Interpretarea rezultatelor experimentale

Din prelucrarea datelor experimentale, conform graficului, rezultă:

- aluminiul prezintă o fluiditate bună în cazul turnării în forme crude la temperatura de 800°C;
- prin ridicarea temperaturii peste 800°C, crește fluiditatea, dar apare pericolul oxidării unei cantități mari de metal care fie se pierde (trece în zgură), fie rămâne în masa de metal, formând defectul numit *incluziuni metalice* care înrăutățește comportarea în exploatare a piesei turnate.





TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Determinarea contracției liniare a materialelor metalice



DETERMINAREA CONTRACȚIEI LINIARE A MATERIALELOR METALICE

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare privind contracția materialelor metalice precum și factorii care influențează contracția, metodele de determinare a acesteia și defectele pieselor turnate datorate contracției.



ELEMENTE TEORETICE

Contrația reprezintă proprietatea metalelor și aliajelor turnate ca la solidificare și răcire să-și micșoreze volumul și implicit elementele de suprafață și liniare.



ELEMENTE TEORETICE

Contrația materialelor metalice

Pentru metale pure și aliaje eutectice, efectul maxim al contracției se manifestă începând cu temperatura de solidificare, respectiv temperatura eutectică. În general, la aliajele cu interval de solidificare, efectul maxim al contracției începe când partea solidificată este mai mare decât lichidul rămas.

Din cauza fenomenului de contracție liniară, modelele trebuie mărite cu valoarea contracției, astfel încât după solidificare și răcire, piesa să rămână cu dimensiuni corespunzătoare celor din desenul de execuție.

Teoretic, contracția liniară, k_t , se exprimă cu relația:

$$k_t = \alpha \cdot (T_s - T_0) \cdot 100 \quad [\%] \quad (4.1)$$

în care: α este coeficientul de dilatare termică liniară a metalului sau aliajului;

T_s – temperatura medie de solidificare;

T_0 – temperatura mediului ambiant.

Contrația liniară teoretică diferă de *contrația liniară reală*, deoarece asupra celei reale o mare influență manifestă și alți factori, cum sunt: compoziția chimică a aliajului, temperatura de turnare, viteza de răcire a aliajului în formă, construcția piesei și a formei etc., de unde se face distincție între *contrația aliajelor* și *contrația pieselor turnate*.



ELEMENTE TEORETICE

Contrația materialelor metalice

Atunci când valoarea contracției se apropie de cea a aliajului pur se spune că avem o *contracție liberă*, iar când diferă mult se numește *contracție frânată* și de aceea corectarea la dimensiuni a modelelor nu se face pe baza caracteristicilor fizice ale metalelor și aliajelor acestora, ci pe baza coeficienților de contracție experimentali, k_e , determinați cu relația:

$$k_e = \frac{l_f - l_p}{l_f} \cdot 100 \text{ [%]}, \quad (4.2)$$

în care: l_f este lungimea cavității forme;

l_p – lungimea piesei după solidificare și răcire.

În general, modelorul lucrează în transpunerea dimensiunilor de pe desenul de execuție pe model cu ajutorul unui metru special numit *metru de contracție*. Raportul dintre metrul de contracție și metrul normal respectă relația:

$$\frac{l_{m \text{ contracție}}}{l_{m \text{ normal}}} = \frac{100}{100 - k_e}. \quad (4.3)$$

Prin urmare, lungimea unei dimensiuni pe model, l_m , se determină cu relația:

$$l_m = l_p \cdot \frac{100}{100 - k_e}. \quad (4.4)$$

Metrul de contracție este specific aliajului care se toarnă. De exemplu, contracția liniară a fontei cenușii este de $0,9 \div 1,3 \%$, a oțelului carbon $2 \div 2,4 \%$, a aliajelor de aluminiu $0,9 \div 1,5 \%$, a celor de cupru $1,4 \div 2,3 \%$.



ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a contracției liniare

Determinarea contracției liniare se face *dinamic*, urmărind variația contracției în timp, începând de la solidificare și până la completa răcire a piesei sau *static*, determinând contracția totală după răcirea probei la temperatura mediului ambiant.

Determinarea contracției liniare prin metoda dinamică se realizează cu un dispozitiv care se bazează pe principiul deplasării libere al unui capăt a probei, deplasare care se înregistrează prin citirea valorilor în timp la un comparator de precizie 0,01 mm. Schema constructiv-funcțională a dispozitivului este prezentată în *Figura 4.1*.

Dispozitivul se compune din *corpul 1* pe care este fixat, la un capăt, *comparatorul 2*. În corpul dispozitivului se așează *forma 3* executată în *rama 4* din amestec de formare. *Cavitatea formei 5* se realizează între *plăcile limitatoare 6* folosind *modelul 7*. Pe *șinele 8*, deasupra formei, rulează două cărucioare. *Căruciorul 9* vine în contact prin *tija 10* și *ghidajul 11* cu *palpatorul comparatorului 12*, iar *căruciorul 13* este fixat la capătul dispozitivului (opus comparatorului) prin intermediul *tije filetate 14* și a *piulițelor de reglare și fixare 15* și *16*. În fiecare din aceste cărucioare se fixează cu ajutorul *șuruburilor 17*, *bolțurile 18* care intră în cavitatea formei pe o adâncime de 13÷15 mm. Distanța dintre axele bolțurilor este de 200 mm și se fixează prin intermediul *riglei de control 19*. Înainte de scoaterea riglei de control de pe bolțuri, dispozitivul se reglează în poziție inițială cu comparatorul încărcat cu 5÷6 rotații, iar în această poziție se fixează căruciorul 13. Căruciorul 9, ca să nu fie împins înapoi de resortul comparatorului se fixează cu două *cuie 20* înfipite în forma de turnare, cuie care, după turnare, în momentul formării primului strat solidificat se îndepărtează în vederea obținerii *contracției libere*. Practic, fenomenul contracției liniare este pus în evidență prin deplasarea acului indicator al comparatorului din momentul în care în primul strat solidificat se află o cantitate de fază lichidă sub 15%.



ELEMENTE TEORETICE

Metode de determinare a contracției liniare

Determinarea contracției liniare prin metoda statică. În acest caz se disting două variante: *metoda contracției libere* (pe probe fără flanșe) și *metoda contracției frânate* (pe probe cu flanșe pe capete). În laborator se va lucra după metoda contracției libere utilizând proba trapezoidală turnată la determinarea contracției liniare prin metoda dinamică. Știind că lungimea formei este aceeași cu distanța dintre plăcile limitatoare și egală cu lungimea modelului, $l_f = 300$ mm, și măsurând proba după răcirea completă se determină contracția liberă totală.

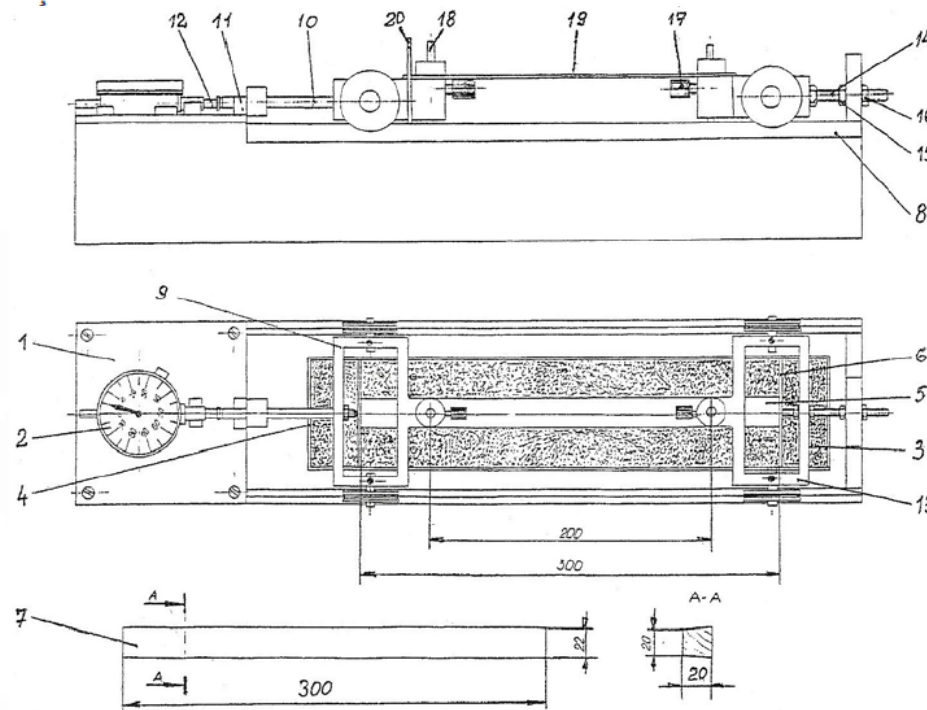


Figura 4.1. Schema constructiv-funcțională a dispozitivului pentru determinarea contracției liniare prin metoda dinamică.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

Contracția liniară este o caracteristică foarte importantă care influențează nu numai dimensiunile corecte ale piesei turnate, dar dacă nu se ține cont de ea, devine cauza unor defecte periculoase, cum sunt: retasura de contracție, porozitatea, tensiunile interne, crăpăturile la cald și la rece sau deteriorarea formei geometrice.

Retasura de contracție, este reprezentată de goluri relativ mari plasate în acele zone ale piesei care se solidifică ultimele, *Figura 4.2*.

La începutul solidificării, în contact cu pereții formei ia naștere *crusta solidă 1* și ca urmare, nivelul metalului datorită contracției coboară la linia **a-a**. În continuare, pe crusta 1, se formează, aderă *stratul 2* și nivelul lichidului coboară la linia **b-b** și așa mai departe până se termină procesul de solidificare. Scăderea continuă a nivelului lichidului conduce în final la *retasura concentrată 4*. Acest mecanism de formare a retasurii în trepte, se întâlnește la solidificarea metalelor pure, la aliajele eutectice și la aliajele cu interval îngust de solidificare.

Porozitatea datorată contracției, se formează în acele zone, în care la un moment dat fronturile dendritice de solidificare se întâlnesc și închid *microvolume de metal lichid 2*, care nu mai pot fi nutrite în procesul de contracție și în ultimă instanță, când ultima picătură de metal se solidifică, ia naștere *microgolul, porul 1*, *Figura 4.3*.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

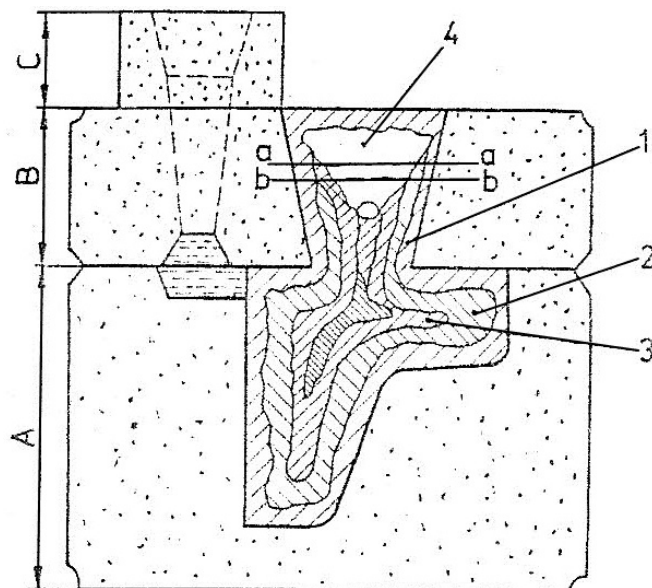
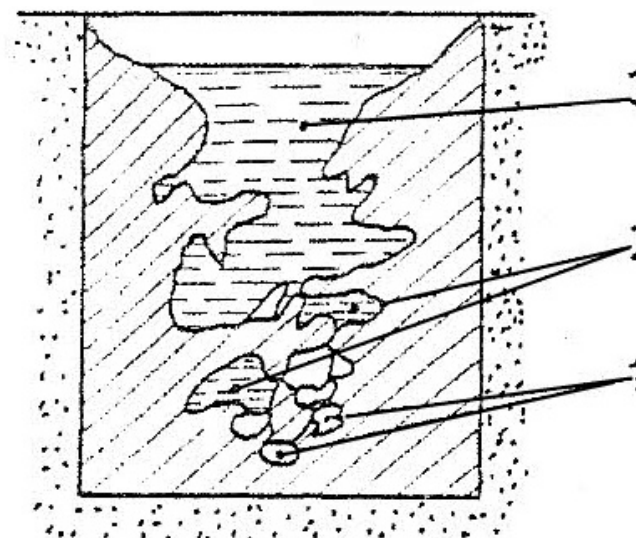


Figura 4.2. Schema formării retasurii:

1, 2, 3 – straturi superficiale; 4 – retasura.

Figura 4.3. Schema formării porilor:

1 – pori; 2 – celulă lichidă; 3 – lichid.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

Obținerea de piese fără retasură și porozitate, nu este posibilă decât prin asigurarea în procesul solidificării, în mod continuu a compensării scăderii volumului prin contracție cu metal lichid care să nutrească mereu fenomenul de contracție. Pentru aceasta se folosesc, de regulă, maselote (v. rama B din *Figura 4.2*), rezervoare cu metal lichid care se solidifică ultimele.

Combaterea retasurii și mai ales a microretasurii se poate face și cu ajutorul unor răcitori exteriori (recuperabili) sau interiori (recuperabili sau nu) care dirijează solidificarea prin echilibrarea fluxului termic, *Figura 4.4*.

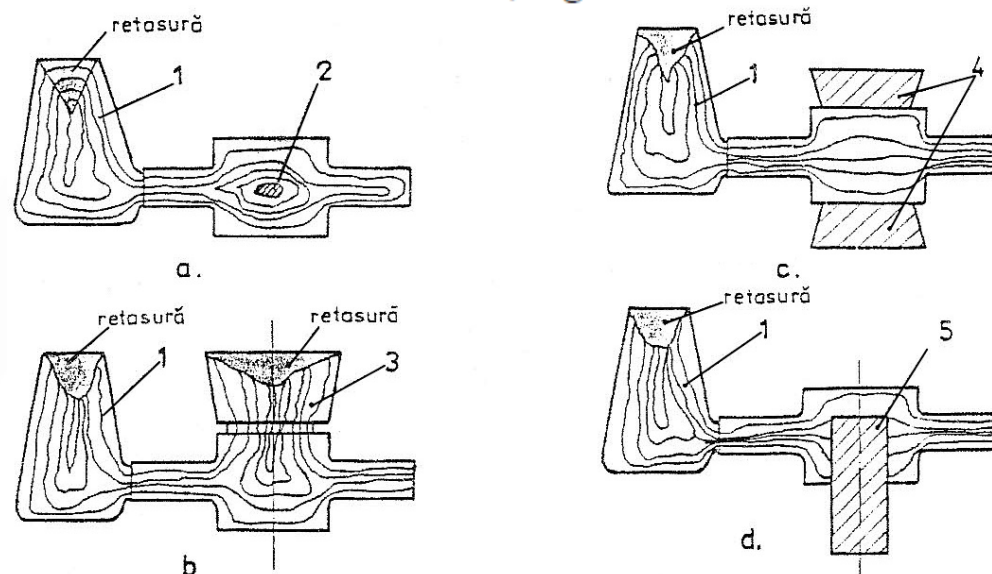


Figura 4.4. Metode de prevenire a formării retasurii din corpul piesei:

a – cu maselotă laterală; b – cu maselotă pe partea masivă a piesei; c – cu răcitori exteriori; d – cu răcitori interiori; 1, 3 – maselote; 2 – microretasură; 4 – răcitor exterior; 5 – răcitor interior.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

Așa cum se observă pe *Figura 4.4(a)*, *maselota 1*, nu reușește să elimine complet *microretasura 2* și atunci în *Figura 4.4(b, c, d)*, se dau soluțiile pentru eliminarea acestui defect, respectiv cu *maselotă suplimentară 3* (ușor detașabilă), cu *răcitori exteriori 4* sau cu *răcitori interiori 5*. În ultimul caz, când răcitorul fuzionează cu metalul turnat, acesta trebuie executat din același metal și să fie foarte curat, lipsit de oxizi, uleiuri, substanțe provocatoare de gaze sau incluziuni.

Crăpături în piesele turnate. În piesele turnate, datorită solidificării neuniforme în pereții groși și subțiri ai piesei și frânării contracției din partea formei, iau naștere tensiuni interne. Aceste tensiuni sunt cu atât mai mari cu cât formele și miezurile sunt mai incompresibile. Dacă tensiunea creată în piesă depășește limita de rupere a materialului din zona considerată, atunci în piesă pot să apară ruperi, crăpături, la rece sau la cald, iar dacă metalul, aliajul are suficientă rezistență și plasticitate, atunci piesa se poate deforma, se abate de la forma geometrică dorită.

Crăpăturile la cald, se pot produce în procesul de cristalizare primară, la trecerea metalului din stare lichidă în stare solidă, în apropierea liniei solidus. Aceste crăpături sunt intergranulare (se produc pe marginea grăunților) și au suprafețele oxidate.

Tendința aliajului de a forma astfel de crăpături crește cu creșterea procentului de incluziuni nemetalice, a gazelor (H_2 , O_2), sulfurii și altor impurități.

De asemenea, crăpăturile la cald pot să apară la trecerea de la un perete subțire la unul gros (trecere bruscă), la muchii și colțuri ascuțite, nervuri etc.

Temperatura prea ridicată de turnare, poate provoca nașterea de crăpături la cald, datorită creșterii granulației și a căderilor de temperatură în diversele detalii ale pieselor.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

Ca urmare, evitarea apariției crăpăturilor la cald în piesele turnate, reclamă următoarele măsuri:

- asigurarea condițiilor de turnare și solidificare, care să conducă la formarea unei structuri cât mai fine și tenace;
- uniformizarea răcirii metalului lichid în pereții subțiri și groși ai piesei turnate;
- să se mărească compresibilitatea formei și în mod deosebit a miezurilor;
- pe cât posibil să se coboare la maximum temperatura de turnare a aliajului etc.

Crăpăturile la rece, iau naștere în domeniul deformațiilor elastice, când aliajul este complet solidificat. Astfel, pereții mai subțiri se răcesc mai repede decât pereții groși, ceea ce poate duce la formarea de crăpături în piesă, fenomen cu atât mai pregnant cu cât comportarea elastică a metalului este de mai mare intensitate, cu cât contracția crește cu scăderea temperaturii și cu cât are o conductivitate termică mai scăzută. Pericolul de crăpare la rece crește cu creșterea impurităților (de exemplu, fosforul în oțeluri produce fragilitatea la rece).

Pentru prevenirea crăpăturilor la rece, se recomandă următoarele măsuri:

- asigurarea unei răcirii uniforme în toate detaliile piesei turnate, folosind răcitori;
- utilizarea ca aliaje pentru turnătorie, a aliajelor cu plasticitate suficientă;
- aplicarea de recoaceri pieselor turnate și alte măsuri.



ELEMENTE TEORETICE

Defecte în piesele turnate datorate contracției

Deteriorarea formei geometrice a piesei turnate, respectiv modificări de formă și dimensiuni, este datorată în principal tot stării de tensiuni, diferită în diferitele detalii ale piesei, în care nu s-au luat măsuri de omogenizare a răcirii în proces. Pe de altă parte, abaterea de formă geometrică, va fi cu atât mai posibilă și mai mare cu cât configurația piesei este mai complexă, cu cât viteza de răcire este mai mare, respectiv cu cât se creează condiții de răcire neuniformă și contracție neuniformă. De asemenea, defecțiunea poate fi cauzată și de rezistența opusă de formă în diversele detalii ale piesei.

Dintre măsurile de evitare a defectului se pot aminti:

- mărirea compresibilității formei;
- concepția și proiectarea rațională a formei geometrice a piesei turnate etc.



EXPERIMENT

În laborator se determină contracția unui aliaj de aluminiu atât prin metoda dinamică, cât și statică. Turnarea se face într-o formă crudă, urmărindu-se evoluția contracției k_{ed} la scăderea temperaturii probei turnate, în timp, și în final, după răcirea probei la temperatura mediului ambiant se determină contracția totală k_{es} .



EXPERIMENT

Condiții experimentale

În vederea efectuării lucrării practice sunt necesare:

- modelul probei cu secțiune trapezoidală, $20 \times 20 / 22 \times 300$ mm;
- amestec de formare;
- ramă de formare;
- trusa de scule de formare specifice și scule generale;
- cuptor electric pentru topit aliajul de aluminiu;
- oală de turnare și scule pentru manevrarea acesteia;
- dispozitiv pentru determinarea contracției libere prin metoda dinamică;
- cronometru;
- șubler.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

Partea practică a lucrării se desfășoară prin parcurgerea etapelor, operațiilor și fazelor care fundamentează din punct de vedere aplicativ, elementele teoretice cuprinse în prezentarea metodelor de determinare a contracției liniare.

- Primirea temei și studiul acesteia.
- Pornirea cuptorului și fixarea temperaturii de încălzire corespunzătoare aluminiului, $T = 750^{\circ}\text{C}$.
- Pregătirea încărcăturii de aluminiu într-un creuzet și introducerea acesteia în cuptor pentru topire.
- Pregătirea locului de muncă pentru formare. În această etapă se verifică și se plasează la îndemână materialele și sculele necesare formării.
- Executarea formei, urmărind fazele formării manuale în rame, cu model.
- Așezarea formei crude obținute în dispozitivul pentru determinarea contracției liniare prin metoda dinamică.
- Reglarea dispozitivului în poziție inițială.
- Scoaterea creuzetului cu aluminiu topit din cuptor la atingerea temperaturii de încălzire prestabilite.
- Turnarea aluminiului în formă și eliberarea căruciorului mobil prin scoaterea cuielei după formarea crustei solidificate.
- Înregistrarea valorilor absolute a contracției probei între bolțuri, $l_f = 200\text{ mm}$, urmărind din 30 în 30 de secunde indicațiile acului comparatorului, până deviația ce se produce în 30 de secunde scade sub o diviziune de pe cadranul comparatorului.
- Demontarea dispozitivului, scoaterea probei solidificate din formă și răcirea acesteia sub jet de apă.
- Măsurarea lungimii probei solidificate, $l_p [\text{mm}]$.



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Datele experimentale obținute în urma încercării de determinare a contracției prin metoda dinamică și statică se centralizează în *Tabelul 4.1*, respectiv în *Tabelul 4.2*.

Tabelul 4.1. Rezultate experimentale și prelucrate privind determinarea contracției liniare prin metoda dinamică.

Nr. crt.	Durata de la începutul înregistrării t [s]	Numărul de diviziuni citite la comparator de la începutul înregistrării n [-]	Contracția liberă absolută $l_f - l_p$ [mm]	Coeficientul relativ de contracție k_{ed} [%]
1.	0	0	0	0
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Tabelul 4.2. Rezultate experimentale și prelucrate privind determinarea contracției liniare prin metoda statică.

Tipul probei	Lungimea cavității forme și probei turnate		Coeficientul relativ de contracție k_{es} [%]
	l_f [mm]	l_p [mm]	



EXPERIMENT

Prelucrarea rezultatelor experimentale

În cazul determinării contracției liniare prin metoda dinamică, în *Tabelul 4.1* se completează *coloanele 3 și 4* știind că lungimea forme este egală cu distanța inițială dintre bolțuri, $l_f = 200$ mm, comparatorul are precizia de măsurare de $0,01$ mm, iar coeficientul relativ de contracție k_{ed} [%] se determină utilizând relația (4.2). În continuare, într-un sistem de coordonate, pe hârtie milimetrică se trasează variația contracției k_{ed} [%] în funcție de durata t [s], considerându-se scări convenabile pentru fiecare parametru.

În cazul determinării contracției liniare prin metoda statică, în *Tabelul 4.2* se completează *coloanele 1 și 3* știind că lungimea forme este egală cu lungimea modelului (distanța dintre plăcile limitatoare), $l_f = 300$ mm, iar coeficientul relativ de contracție k_{es} [%] se determină utilizând relația (4.2). În sistemul de coordonate trasat anterior se reprezintă semidreapta $k_e = k_{es}$.



EXPERIMENT

Interpretarea rezultatelor experimentale

În urma prelucrării rezultatelor experimentale se va urmări, în principal, evoluția contracției relative k_{ed} în timp și legătura cu semidreapta $k_e = k_{es}$, desprinzându-se unele concluzii care derivă din această evoluție.



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, studenții vor participa direct la experiment, preluarea, prelucrarea și interpretarea datelor experimentale privind determinarea contracției liniare a materialelor metalice.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării. Un exemplu de referat este prezentat în **Anexa 4**.



ANEXA 4

Să se determine contracția liniară a aluminiului utilizând metodele dinamică și statică.

Date experimentale și prelucrate pentru determinarea contracției liniare prin metoda dinamică

Nr. crt.	Durata de la începutul înregistrării t [s]	Numărul de diviziuni citite la comparator de la începutul înregistrării n [-]	Contracția liberă absolută $l_f - l_p$ [mm]	Coefficientul relativ de contracție k_{ed} [%]
1.	0	0	0	0
2.	30	10	0,10	0,05
3.	60	26	0,26	0,13
4.	90	44	0,44	0,22
5.	120	70	0,70	0,35
6.	150	96	0,96	0,48
7.	180	126	1,26	0,63
8.	210	144	1,44	0,72
9.	240	160	1,60	0,80
10.	270	176	1,76	0,88
11.	300	190	1,90	0,95
12.	330	202	2,02	1,01
13.	360	208	2,08	1,04
14.	390	214	2,14	1,07
15.	420	218	2,17	1,085
16.	450	219	2,19	1,095
17.	480	220	2,20	1,10



ANEXA 4

Prelucrarea rezultatelor, de exemplu pentru *linia 2* se realizează astfel:

- $l_f - l_p = n \cdot 0,01 = 10 \cdot 0,01 = 0,10 \text{ mm};$
- $k_{ed} = \frac{l_f - l_p}{l_f} \cdot 100 = \frac{0,10}{200} \cdot 100 = 0,05 \text{ \%}.$

Date experimentale și prelucrate pentru determinarea contracției liniare prin metoda statică

Tipul probei	Lungimea cavității forme și probei turnate		Coeficientul relativ de contracție $k_{es} [\%]$
	$l_f [\text{mm}]$	$l_p [\text{mm}]$	
Trapezoidală, fără flanșă turnată în amestec de formare	300	296,4	1,2

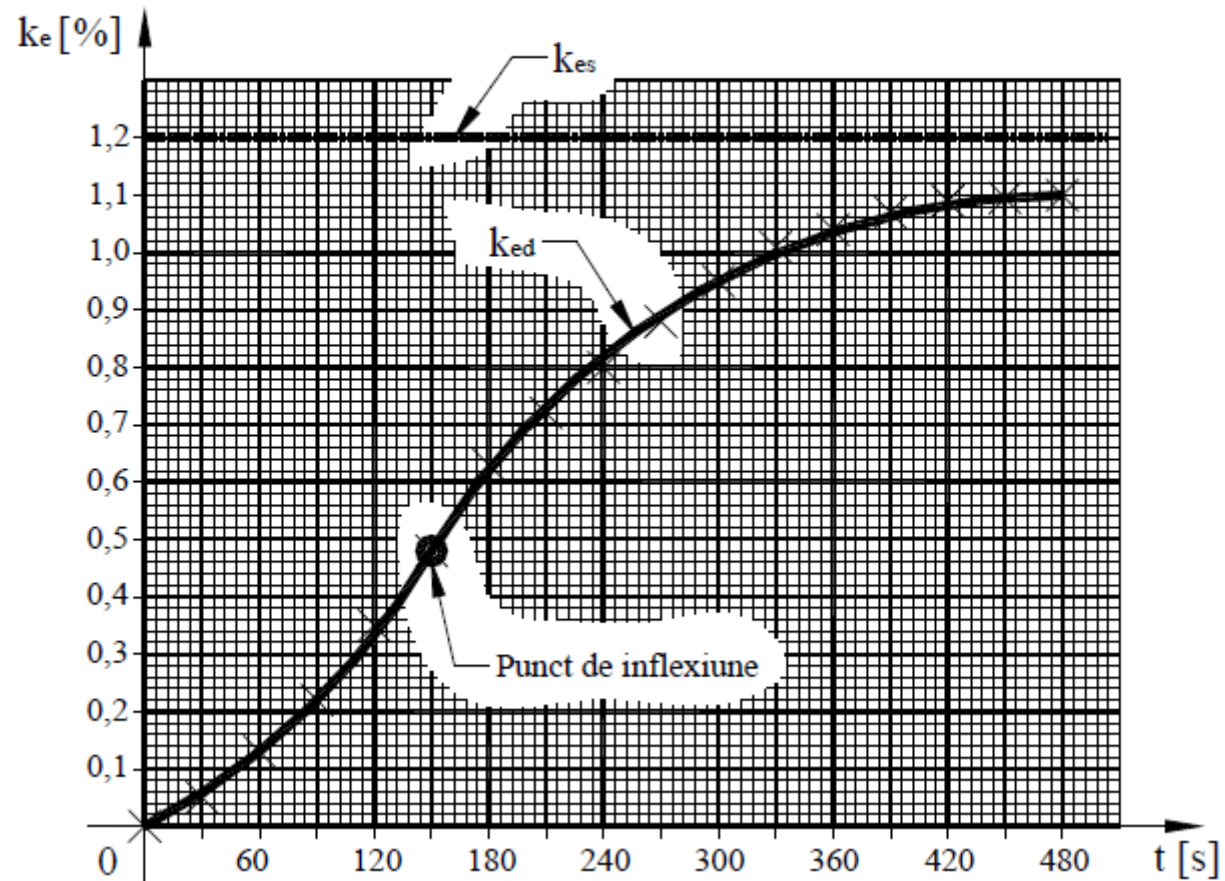
În acest caz,

$$k_{es} = \frac{l_f - l_p}{l_f} \cdot 100 = \frac{300 - 296,4}{300} \cdot 100 = 1,2 \text{ \%}.$$



ANEXA 4

Variația contracției liniare în funcție de durata de răcire



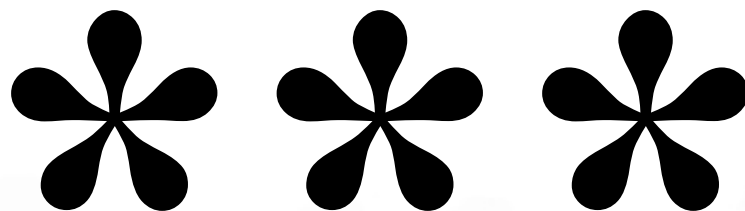


ANEXA 4

Interpretarea rezultatelor experimentale

Din prelucrarea datelor experimentale, conform graficului, rezultă:

- aluminiul prezintă o contracție relativ mică, $k_{es} = 1,2 \%$;
- graficul de variație dinamică a contracției pentru aluminiu, prezintă un *punct de inflexiune*, la durata de 150 s de la formarea primului strat solidificat. Acest punct indică momentul extragerii miezurilor din formă, dacă acestea sunt metalice, pentru a preveni apariția tensiunilor interne și implicit a fisurilor în piesa turnată, astfel încât contracția până la răcire să fie liberă și nu frânată. Durata de 150 s se poate utiliza pentru piese cu pereți de grosime apropiată cu aceea a probei turnate, iar pentru alte grosimi de perete se practică încercări experimentale pe același principiu.





TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Determinarea regimului de încălzire și răcire a
materialelor forjabile



DETERMINAREA REGIMULUI DE ÎNCĂLZIRE ȘI RĂCIRE A MATERIALELOR FORJABILE

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare privind regimul termic al forjării metalelor și aliajelor în general și a oțelurilor, în special. Prin stabilirea domeniului de temperatură optim pentru deformare, a vitezei și duratei de încălzire și răcire se urmărește trasarea diagramei de încălzire-răcire care reprezintă instrumentul de conducere a procesului deformării plastice a materialelor forjabile.



ELEMENTE TEORETICE

Deformarea plastică este metoda de prelucrare prin care, în scopul obținerii unor semifabricate sau piese finite, se realizează deformarea permanentă a materialelor în stare solidă fără fisurare macroscopică.

Sub acțiunea forțelor exterioare orice material metalic suferă deformații. Dacă deformația produsă nu depășește capacitatea de împotrivire elastică, atunci după îndepărtarea acțiunii forțelor exterioare, materialul își revine la forma inițială și avem așa numita *deformație elastică*. Dacă se depășește limita de elasticitate, avem *deformație plastică*.



ELEMENTE TEORETICE

- **Moduri fundamentale de deformare plastică**
- **Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor**
- **Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor**



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

La baza fenomenului de curgere plastică prin presiune stau mecanismele elementare ale deformării plastice care, în principal, se produc prin:

- **Alunecarea**
- **Maclarea**
- **Deformarea intracristalină**
- **Deformarea intercristalină**
- **Revenirea**
- **Recristalizarea**



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Alunecarea este deplasarea paralelă a straturilor subțiri ale cristalului unele față de altele, după planele cristalografice de densitate atomică maximă, numite *plane de alunecare*.

Maclarea reprezintă reorientarea unei părți din cristal în raport cu restul cristalului, de-a lungul unui anumit plan, numit *plan de maclare*. Partea rotită a cristalului se numește *maclă*. Procesul apare, în general, la deformări dinamice și se realizează sub acțiunea unor eforturi tangențiale mai mici decât la alunecare, deoarece atomii nu părăsesc pozițiile lor de echilibru stabil.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

În cursul deformării, la nivelul unui monocristal, apare întâi maclarea urmată de alunecare, mecanismul deformării fiind *complex*.

Toate materialele metalice sunt corpuri policristaline formate dintr-un număr mare de cristale (grăunți) cu o orientare cristalografică bine determinată, înconjurați de o substanță intercristalină. Deformarea plastică a policristalului se compune din deformarea cristalelor (deformare intracristalină) și deformarea substanței intercristaline.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Deformarea intracristalină are loc în condiții mult mai grele decât cea a grăunților luați separat și este cu atât mai grea cu cât grăunții sunt mai mici, deoarece planele de alunecare ale diferiților grăunți sunt orientate arbitrar în spațiu.

Deformarea intercristalină. În timpul deformării plastice a policristalului, tot mai mulți grăunți se rotesc și iau poziții favorabile acțiunii forțelor de deformare. Deformarea grăunților, deplasarea și rotirea lor provoacă deformarea substanței intercristaline. În cazul deformării plastice la rece există pericolul apariției microfisurilor intercristaline.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

La prelucrarea metalelor prin deformare plastică la rece au loc modificări importante ale proprietăților mecanice, fizice și chimice ale acestora care, în principal, sunt: creșterea rezistenței mecanice și a durtății; scăderea plasticității, a conductivității electrice și termice, a rezistenței la coroziune; înmagazinarea unei mari cantități de energie.

Starea unui material metalic ale cărui proprietăți mecanice, fizice și chimice au fost modificate în urma deformării plastice la rece se numește *ecruisare* sau *întărire*. La un metal ecruisat se observă mărunțirea și schimbarea formeii grăunților, aceștia alungindu-se în direcția deformației principale, în raport cu forma grăunților de la turnare care sunt grosolani echiaxiali.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Pentru a împiedica apariția timpurie a *ecruisării* se aplică *încălzirea materialelor* în vederea deformării plastice.

Față de prelucrarea prin deformare plastică la rece, în prelucrarea plastică la cald, alături de fenomenul *ecruisării* se desfășoară și fenomenele specifice de atenuare, care sunt *revenirea* și *recristalizarea*.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Revenirea este cauzată de creșterea temperaturii în intervalul $(0,2 \div 0,4) \cdot T_{top}$ [K] și nu presupune modificări structurale esențiale. Nu se schimbă structura granulară de deformare, eliminându-se numai tensiunile interne, atât prin creșterea mobilității atomilor, cât și datorită fenomenelor de difuzie de mică intensitate.

Recristalizarea este fenomenul de modificare radicală a structurii de deformare, desfășurându-se în intervalul de temperatură $(0,4 \div 0,85) \cdot T_{top}$ [K]. Recristalizarea presupune reorganizarea rețelei deformate cu apariția de noi centre de cristalizare și formarea unei noi structuri granulare, mai fine, această finețe fiind funcție de rezerva termică față de pragul recristalizării ($0,4 \cdot T_{top}$ [K]) după încetarea deformării.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Datorită acestor fenomene *rezistența la deformare* a materialului metalic scade, iar *plasticitatea* crește, aceasta și în funcție de *viteza de deformare*.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

În funcție de influența reciprocă a ecruisării, revenirii și recristalizării se deosebesc următoarele **moduri fundamentale de deformare plastică**:

- *deformarea plastică la rece*, cu $T_{def} < 0,2 \cdot T_{top}$ [K], în care are loc ecruisarea și nu se produce revenirea și recristalizarea;
- *deformarea incompletă la rece*, cu $T_{def} = (0,2 \div 0,4) \cdot T_{top}$ [K], în care are loc ecruisarea, revenirea și nu are loc recristalizarea;
- *deformarea incompletă la cald*, cu $T_{def} = (0,4 \div 0,6) \cdot T_{top}$ [K], în care are loc ecruisarea, revenirea și recristalizarea parțială;
- *deformarea la cald*, cu $T_{def} = (0,6 \div 0,85) \cdot T_{top}$ [K], în care se produce ecruisarea, revenirea și recristalizarea completă.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Prelucrarea dimensională prin deformare plastică a materialelor metalice se face prin mai multe procedee, dintre care, în principal, amintim: laminarea, tragerea-trefilarea, extrudarea, forjarea, matrițarea, tăierea și prelucrarea tablelor etc.



ELEMENTE TEORETICE

Moduri fundamentale de deformare plastică

Utilajele încălzirii se clasifică după mai multe criterii, și anume:

- *după sursa termică folosită*: cuptoare cu flacără (cu combustibil lichid sau gazos) și cuptoare sau instalații electrice cu rezistență sau cu inducție;
- *după modul de funcționare*: cu funcționare intermitentă (periodică) și cu funcționare continuă (cu vatră fixă sau mobilă) de tip carusel sau liniare;
- *după atmosfera cuptorului*: cu aer cu încălzire directă; cu atmosferă protejată (cu muflă) sau controlată (neutră sau reducătoare);
- *după mărimea semifabricatului*: normale pentru piese mici și adânci pentru lingouri.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Creșterea temperaturii semifabricatelor introduse în cuptor este însoțită de o serie de fenomene nedorite, care pentru cazul oțelurilor sunt:

- posibilitatea apariției fisurilor;
- oxidarea;
- decarburarea;
- supraîncălzirea.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Apariția fisurilor. În cursul încălzirii, straturile exterioare ale semifabricatului se încălzesc mai repede decât cele de la interior. Această neuniformitate a temperaturii pe secțiunea semifabricatului conduce la apariția tensiunilor interne datorate dilatării neuniforme a materialului semifabricatului. La diferențe mari de temperatură între suprafață și miez, tensiunile termice pot atinge valori atât de mari, încât să depășească rezistența de rupere a materialului încălzit și să producă *fisuri interioare*.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Pentru prevenirea apariției fisurilor, se menține o diferență de temperatură mică între suprafața semifabricatului și miez prin limitarea vitezei de încălzire, în prima perioadă a procesului de încălzire când materialul are o plasticitate redusă.

Pentru întreaga gamă de oțeluri carbon și aliate forjabile, temperatura maximă până la care pot să apară fisurile, $\theta_{f_{max}}$, este cuprinsă între limitele 550÷800 °C, limita inferioară fiind proprie oțelurilor carbon, iar limita superioară oțelurilor bogat aliate. Peste temperatura $\theta_{f_{max}}$, viteza de încălzire a semifabricatului poate fi mărită datorită creșterii plasticității acestuia, tensiunile termice producând deformarea materialului și nu fisurarea acestuia.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Oxidarea. La temperaturi ridicate, în special la încălzirea în cuptoare cu flacără, unde semifabricatul vine în contact cu flacăra sau gazele arse care conțin oxigen, bioxid de carbon, vaporii de apă etc. apare fenomenul de oxidare a elementelor din compoziția chimică a oțelului la suprafața semifabricatului. Oxidarea este influențată, în afară de atmosfera cuptorului, de durata încălzirii, forma și dimensiunile semifabricatului, temperatura de încălzire (viteza de oxidare crește intens peste 700 °C), calitatea oțelului.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Prezența fenomenului oxidării conduce la pierderi de material în timpul încălzirii. La încălzirea semifabricatelor de oțel în cuptoare cu flacără, pierderile de metal se ridică la $2\div 3\%$ din volumul semifabricatului. La încălzirea electrică, fiind prezent pe suprafața semifabricatului numai oxigenul din aer și încălzirea având loc într-un interval mai scurt de timp, pierderile de material sunt de $0,5\div 1\%$ din volumul semifabricatului.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Decarburarea oțelului. Pe lângă oxidare, la temperaturi ridicate are loc și decarburarea oțelului care constă în micșorarea conținutului de carbon la suprafața semifabricatului datorită reacțiilor dintre acesta și gazele din atmosfera cuptorului. Decarburarea ca și oxidarea este cu atât mai intensă cu cât durata de încălzire și menținere la temperaturi ridicate este mai mare și atmosfera cuptorului mai oxidantă. Reducerea conținutului de carbon la suprafața semifabricatului conduce la anizotropia proprietăților pe secțiunea piesei. Se reduce în mod simțitor rezistența la oboseală. În unele cazuri este necesară înlăturarea prin așchiere a stratului decarburat.



ELEMENTE TEORETICE

Fenomene nedorite, posibile la încălzirea oțelurilor

Pentru micșorarea pierderilor de material prin oxidare și grosimii stratului decarburat, fie se utilizează cuptoare cu atmosferă controlată, fie se acoperă suprafața semifabricatului cu un strat protector (cuprare).

Supraîncălzirea. Pentru a-și micșora energia internă, la temperaturi ridicate, există tendința ca grăunții policristalului să crească. Astfel, datorită încălzirii, grăunții existenți înaintea deformării vor fi cu atât mai mari cu cât temperatura va fi mai ridicată. Supraîncălzirea constă în creșterea rapidă a grăunților cristalini datorită încălzirii sau menținerii îndelungate a semifabricatului la o temperatură ce depășește limita superioară a temperaturii de început de deformare și conduce la reducerea proprietăților mecanice ale metalului sau aliajului semifabricatului.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor

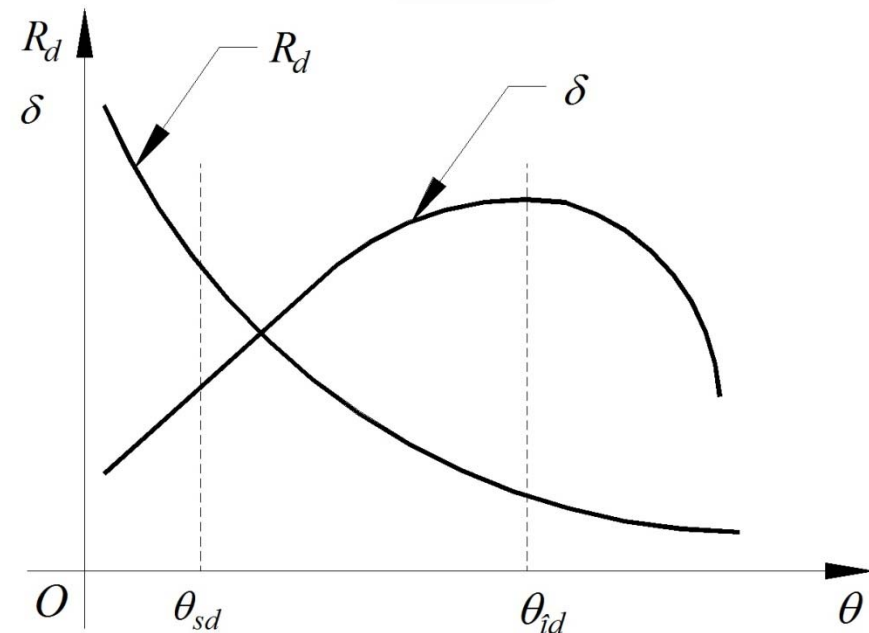
Stabilirea regimului termic presupune determinarea domeniului de temperatură optim la care se poate face deformarea unui material în bune condiții. Domeniul de temperatură este specific fiecărui material, fiind condiționat de mărimea gradului de deformare ce poate fi realizat cu păstrarea integrității materialului și de obținerea unei structuri impuse după deformare.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor

Domeniul de temperatură se stabilește astfel încât rezistența la deformare să fie mică și plasticitatea ridicată. Variația rezistenței la deformare R_d și a plasticității δ cu temperatura θ , pentru majoritatea materialelor metalice se prezintă în figura următoare.





ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor

Temperatura minimă admisă pentru deformare – temperatura de sfârșit de deformare θ_{sd} – este limitată de gradul de deformare ce se poate realiza la acea temperatură și de structura ce se urmărește să se obțină după deformare – complet sau incomplet recristalizată.

Ținând seama de condițiile prezentate și de faptul că, în general, se urmărește evitarea domeniului de temperaturi la care materialul metalic prezintă mai multe faze, pentru oțelurile carbon, domeniul de temperatură optim pentru forjare la cald este reprezentat prin domeniul hașurat pe diagrama Fe-Fe₃C din figura următoare.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor

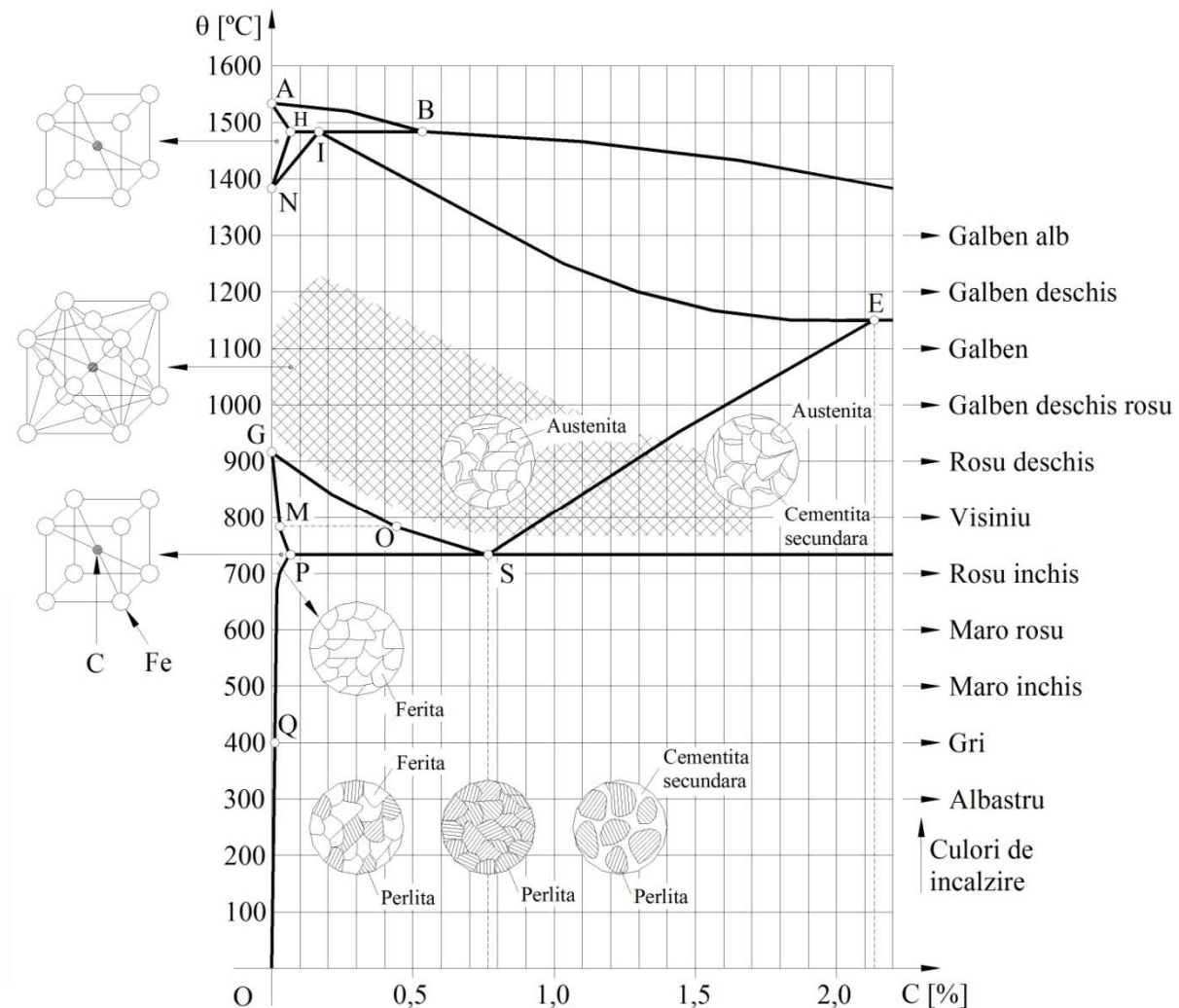
Rezistența la deformare scade cu temperatura, iar plasticitatea prezintă un punct de maxim. Scăderea plasticității la temperaturi mari are loc datorită creșterii excesive a grăunților și a declanșării procesului de topire la limitele intercristaline.

Temperatura critică la care aceste fenomene încep să se producă intens se află cu $150\div 300^{\circ}\text{C}$ sub linia solidus în funcție de material. Se deduce că temperatura de început de deformare θ_{id} (limita superioară de temperatură) corespunde punctului de maxim al plasticității.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjarea oțelurilor





ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Viteza de încălzire depinde de tipul utilajului folosit, de diferența dintre temperatura mediului cuptorului și cea a semifabricatului, de proprietățile fizice ale materialului supus încălzirii (conductivitate termică, dilatare), de forma și dimensiunile semifabricatului și de modul de așezare a pieselor pe vatra cuptorului.

Din rațiuni economice este de dorit ca viteza de încălzire să fie cât mai mare, însă ea este limitată de pericolul apariției fisurilor în materialul supus încălzirii, ca urmare a dilatării diferite a straturilor de material pe direcția gradientului termic. Pentru satisfacerea ambelor cerințe se folosesc, acolo unde este posibil, acele procedee de încălzire care asigură producerea căldurii în masa semifabricatului (încălzirea prin inducție sau prin rezistență de contact). Dacă acest lucru nu este posibil (semifabricate mari sau dotare tehnică) se va face o preîncălzire a materialului astfel încât viteza de încălzire să nu depășească valoarea critică.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Din punct de vedere termic în procesul de deformare plastică se disting trei stadii, *figura alăturată*.

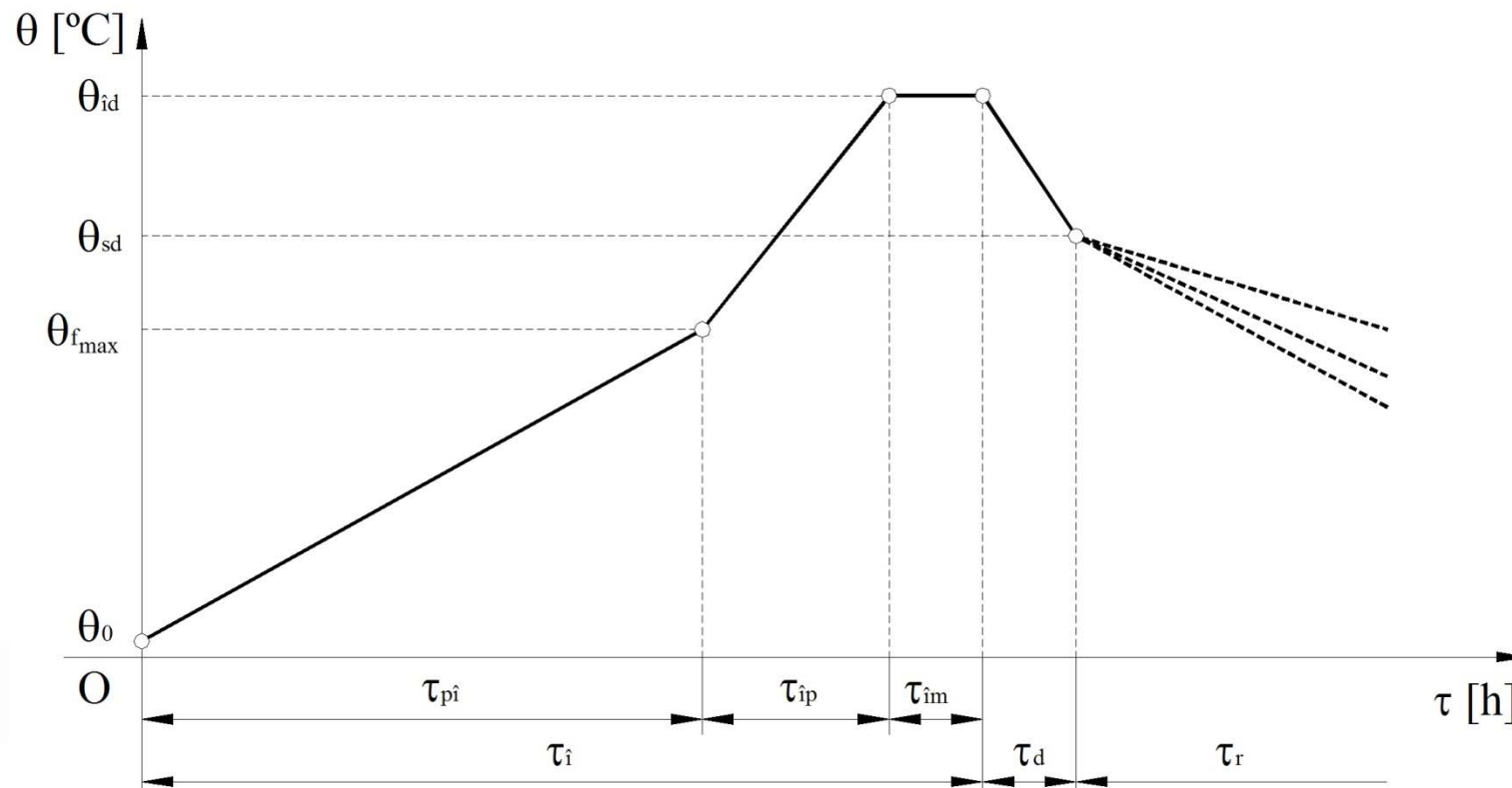


Diagrama de încălzire-răcire la deformarea plastică a materialelor forjabile



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

- ◆ Stadiul încălzirii semifabricatului de la temperatura mediului ambiant θ_0 la temperatura de început de deformare θ_{id} , corespunzător duratei τ_i , care cuprinde trei etape:
 - preîncălzirea până la atingerea temperaturii $\theta_{f_{max}}$, pe durata $\tau_{pî}$;
 - încălzirea propriu-zisă la temperatura θ_{id} , pe durata $\tau_{îp}$;
 - menținerea la temperatura de început de deformare pentru încălzirea miezului semifabricatului, pe durata $\tau_{îm}$.
- ◆ Stadiul deformării propriu-zise când temperatura scade de la valoarea θ_{id} la temperatura de sfârșit de deformare θ_{sd} , corespunzător duratei τ_d .



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Semifabricatele sunt supuse deformării propriu-zise în mod intermitent. În intervalele în care semifabricatele sunt deformate, din lucrul mecanic cheltuit pentru deformare aproximativ 10% se acumulează în rețeaua cristalină a metalului și 90% se transformă în căldură, care contribuie la ridicarea temperaturii semifabricatului. Pe de altă parte, datorită diferenței de temperatură dintre semifabricat și mediul exterior, acesta va pierde căldură în timpul deformării, micșorându-i-se temperatura. Astfel, în funcție de viteza de deformare se poate ajunge la deformarea izotermă sau chiar politropă, situații de care trebuie ținut seama la stabilirea domeniului de temperatură optim forjării.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Cunoașterea duratei de răcire pe intervalul de temperatură ales pentru deformare, permite stabilirea numărului de faze posibile de realizat în acest interval, respectiv numărul de încălziri necesar pentru deformarea pieselor complexe, care necesită un număr mare de faze de deformare.

- Stadiul de răcire până la temperatura ambiantă θ , corespunzător duratei τ .



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Viteza de răcire de după deformare depinde de structura impusă care determină mediul de răcire. Astfel, răcirea se poate face în aer, în medii termorigide (zgură granulată, nisip, vată de sticlă etc.) sau în cuptor. Se evită răcirea bruscă pentru prevenirea apariției *fisurilor exterioare*. Măsuri speciale se iau în cazul anumitor tipuri de oțeluri (cu Cr, Ni și Mo), susceptibile de a forma *fulgi*.

Stabilirea analitică a duratei de încălzire-răcire este laborioasă datorită faptului că în acest timp variază foarte mulți factori: temperatura semifabricatului; temperatura cuptorului; căldura specifică; coeficientul de transmitere a căldurii etc. În literatura de specialitate sunt prezentate relații stabilite pe ipoteze teoretice simplificate sau pe baze experimentale.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Pentru determinarea rapidă a duratei încălzirii oțelurilor în cuptoarele cu vatră, în practică se utilizează frecvent relația experimentală stabilită de N. D. DOBROHOTOV:

$$\tau_{\hat{t}} = k_m \cdot k_a \cdot d^{\frac{3}{2}} \text{ [h]}$$

- în care:
- k_m este un coeficient care depinde de masa semifabricatului și de tipul de oțel. În general, $k_m = 10 \div 20$ (valorile minime se aleg în cazul semifabricatelor laminate și forjate din oțeluri carbon sau slab aliate cu masa până la 2500 kg, iar cele maxime pentru oțeluri aliate și piese cu masa peste 2500 kg – $\rho_{otel} = 7800 \text{ kg/m}^3$);
 - k_a – un coeficient care depinde de modul de așezare a semifabricatelor pe vatra cuptorului. Valorile acestui coeficient sunt prezentate în *Tabelul 6.1*;
 - d – diametrul sau grosimea semifabricatului, în m.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Valorile coeficientului k_a

Modul de așezare	Semifabricate cu secțiune transversală circulară		Semifabricate cu secțiune transversală pătrată	
	Schema de așezare	k_a	Schema de așezare	k_a
Singulare pe suport		1,0		1,0
Singulare pe vatră		1,0		1,4
Grup compact pe vatră		2,0		4,0
Grup la $\frac{1}{2} \cdot d$ pe vatră		1,4		2,2
Grup la $1 \cdot d$ pe vatră		1,35		2,0
Grup la $2 \cdot d$ pe vatră		1,3		1,8



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Pentru toate materialele metalice se recomandă o preîncălzire lentă utilizând relația:

$$\tau_{p\hat{i}} = \frac{2}{3} \cdot \tau_{\hat{i}} \text{ [h]}$$

Durata încălzirii propriuzise $\theta_{\hat{i}p}$ se determină din condiția ca viteza de încălzire în această perioadă $v_{\hat{i}p}$ să fie dublă față de viteza de preîncălzire $v_{p\hat{i}}$. Se deduce succesiv:

$$v_{\hat{i}p} = 2 \cdot v_{p\hat{i}} \text{ sau } \frac{\theta_{\hat{i}d} - \theta_{f_{max}}}{\tau_{\hat{i}p}} = 2 \cdot \frac{\theta_{f_{max}} - \theta_0}{\tau_{p\hat{i}}}, \text{ de unde}$$
$$\tau_{\hat{i}p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta_{\hat{i}d} - \theta_{f_{max}}}{\theta_{f_{max}} - \theta_0} \cdot \tau_{p\hat{i}} \text{ [h]}$$

Timpul de menținere $\tau_{\hat{i}m}$

$$\tau_{\hat{i}m} = \tau_{\hat{i}} - \tau_{p\hat{i}} - \tau_{\hat{i}p} \text{ [h]}$$



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Timpul deformării propriu zise în care are loc răcirea semifabricatului la temperatura de sfârșit θ_{sd} de deformare se determină cu relația experimentală:

$$\tau_d = k_\theta \cdot k_g \text{ [min]}$$

în care: k_θ este factorul de temperatură;
 k_g – factorul geometric.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea vitezei și duratei de încălzire-răcire la forjare

Factorul k_θ depinde de temperatura de început de deformare și pentru oțeluri se determină cu relația următoare, dedusă prin prelucrarea datelor existente în literatură:

$$k_\theta = -1,425 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_{id}^2 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_{id} - 2,254$$

Factorul k_g se determină cu relația:

$$k_g = \frac{l}{\frac{l}{a} + \frac{l}{b} + \frac{l}{c}}$$

în care a, b, c sunt dimensiunile de gabarit ale semifabricatului, în mm

Timpul de răcire după deformarea plastică τ_r depinde de structura impusă și este variabil, în limite largi, în funcție de mediul de răcire necesar.



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, fiecare student va primi o temă (*Tabelul 6.2*) privind determinarea regimului de încălzire și răcire a unui oțel forjabil utilizând partea teoretică a lucrării.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării.

Aplicații privind determinarea regimului de încălzire și răcire a oțelurilor forjabile

Cod aplicație	Caracteristicile semifabricatului				Temperaturi	
	Material *STAS 880-88 **STAS 11513-88 ***STAS 791-88	Forma secțiunii transversale	Diametrul sau latura d [mm]	Lungimea l [mm]	θ_0 [°C]	$\theta_{f_{max}}$ [°C]
DRIR-1	OLC 15*	circulară	500	1200	20	700
DRIR-2	OLC 20*	pătrată	520	1200	20	700
DRIR-3	OLC 25*	circulară	540	1200	20	700



APLICAȚII

Aplicații privind determinarea regimului de încălzire și răcire a oțelurilor forjabile - continuare

Cod aplicație	Caracteristicile semifabricatului				Temperaturi	
	Material *STAS 880-88 **STAS 11513-88 ***STAS 791-88	Forma secțiunii transversale	Diametrul sau latura d [mm]	Lungimea l [mm]	θ_0 [°C]	$\theta_{f_{max}}$ [°C]
DRIR-4	OLC 30*	pătrată	560	1200	20	700
DRIR-5	OLC 35*	circulară	580	1200	20	700
DRIR-6	OLC 40*	pătrată	600	1500	20	700
DRIR-7	OLC 45*	circulară	620	1500	20	700
DRIR-8	OLC 50*	pătrată	640	1500	20	700
DRIR-9	OLC 55*	circulară	660	1500	20	700
DRIR-10	OLC 60*	pătrată	680	1500	20	700
DRIR-11	35Mn16**	circulară	700	1500	20	700
DRIR-12	40Mn10**	pătrată	720	1500	20	700
DRIR-13	65Mn10**	circulară	740	1500	20	700
DRIR-14	17MnCr10***	pătrată	760	1500	20	700
DRIR-15	18MnCr11***	circulară	780	1500	20	700
DRIR-16	20MnCr12***	pătrată	800	2000	20	700
DRIR-17	40BCr10***	circulară	820	2000	20	700
DRIR-18	35MnSi13***	pătrată	840	2000	20	700
DRIR-19	15Cr9***	circulară	860	2000	20	700
DRIR-20	40Cr10***	pătrată	880	2000	20	700
DRIR-21	17CrNi16***	circulară	900	2000	20	700
DRIR-22	18CrNi20***	pătrată	920	2000	20	700
DRIR-23	40CrNi12***	circulară	940	2000	20	700
DRIR-24	20TiMnCr12***	pătrată	960	2000	20	700
DRIR-25	19MoCr11***	circulară	980	2000	20	700
DRIR-26	26MoCr11***	pătrată	1000	2000	20	700



ANEXĂ

Să se traseze diagrama de încălzire și răcire în cursul deformării prin forjare a unui semifabricat din oțel în cuptorul cu vatră. Cod aplicație: DRIR-1.

Date inițiale

Caracteristicile semifabricatului				Temperaturi	
Material STAS 880-88	Forma secțiunii transversale	Diametrul d [mm]	Lungimea l [mm]	θ_0 [°C]	$\theta_{f_{max}}$ [°C]
OLC 15	circulară	500	1200	20	700

Stabilirea domeniului de temperatură optim pentru forjare

Oțelul OLC 15, STAS 880-88, conține 0,12÷0,18%C. Din diagrama prezentată în *Figura 6.2* se aleg:

- temperatura de început de deformare – valoarea superioară a domeniului hașurat:

$$\theta_{id} = 1200^{\circ}\text{C};$$

- temperatura de sfârșit de deformare – valoarea inferioară a domeniului hașurat:

$$\theta_{sd} = 900^{\circ}\text{C};$$



ANEXĂ

Stabilirea timpilor de încălzire și răcire. Se determină în ordine:

- masa semifabricatului:

$$m_s = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = 7800 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} \cdot 1,2 = 1838 \text{ kg}$$

- coeficientul de masă se alege în funcție de masa semifabricatului pentru oțelul OLC 15:

$$k_m = 13$$

- coeficientul de așezare – se alege cazul grupului compact pentru economie de spațiu pe vatra cuptorului:

$$k_a = 2$$

- timpul de încălzire:

$$\tau_i = k_m \cdot k_a \cdot d^{\frac{3}{2}} = 13 \cdot 2 \cdot 0,5^{\frac{3}{2}} = 9,2 \text{ h}$$



ANEXĂ

- timpul de preîncălzire:

$$\tau_{p\hat{t}} = \frac{2}{3} \cdot \tau_{\hat{t}} = \frac{2}{3} \cdot 9,2 = 6,1 \text{ h}$$

- timpul încălzirii propriu-zise:

$$\tau_{\hat{t}p} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta_{id} - \theta_{f_{max}}}{\theta_{f_{max}} - \theta_0} \cdot \tau_{p\hat{t}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1200 - 700}{700 - 20} \cdot 6,1 = 2,3 \text{ h}$$

- timpul de menținere la temperatura de început de deformare:

$$\tau_{\hat{t}m} = \tau_{\hat{t}} - \tau_{p\hat{t}} - \tau_{\hat{t}p} = 9,2 - 6,1 - 2,3 = 0,8 \text{ h}$$

- factorul de temperatură:

$$k_{\theta} = -1,425 \cdot 10^{-6} \cdot \theta_{id}^2 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_{id} - 2,254 = -1,425 \cdot 10^{-6} \cdot 1200^2 + 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1200 - 2,254 = 0,25$$

- factorul geometric:

$$k_g = \frac{l}{\frac{l}{d} + \frac{l}{d} + \frac{l}{l}} = \frac{l}{\frac{l}{500} + \frac{l}{500} + \frac{l}{1200}} = 207$$

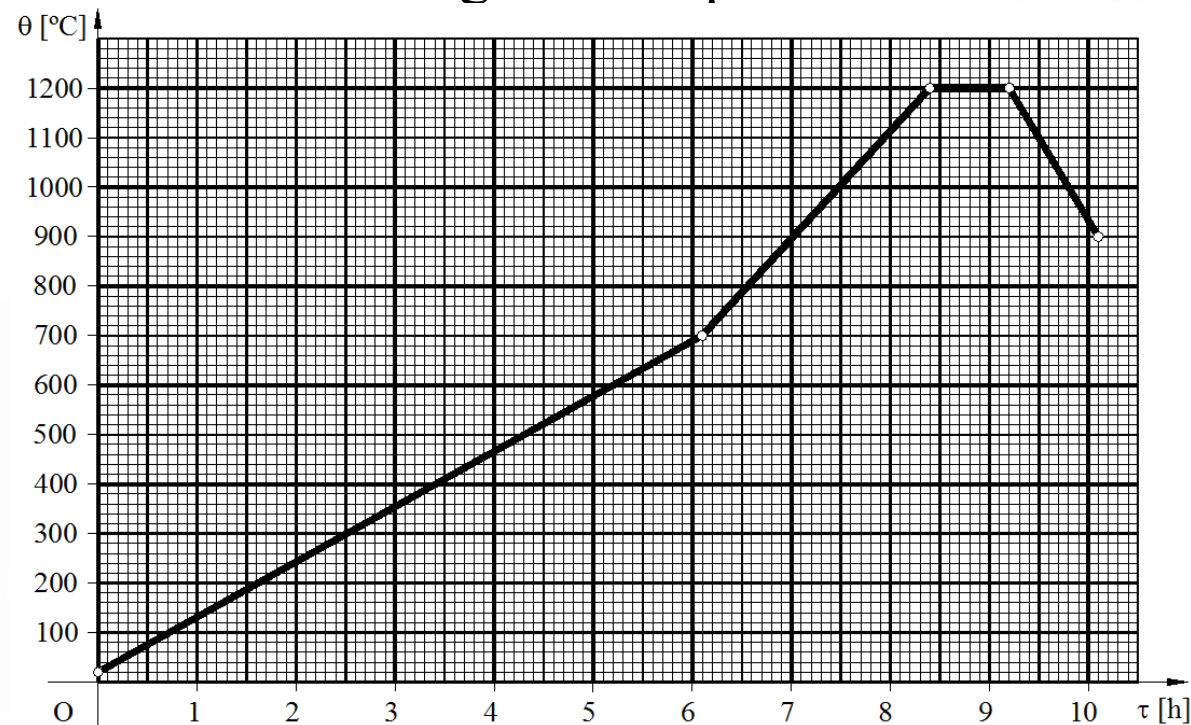


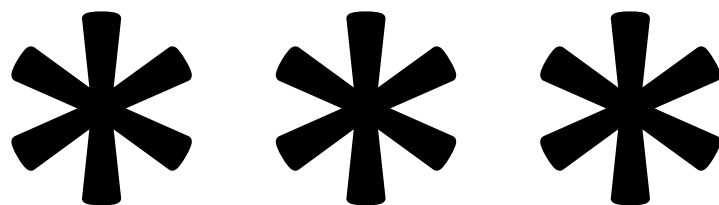
ANEXĂ

- timpul maxim al deformării propriu-zise:

$$\tau_d = k_\theta \cdot k_g = 0,25 \cdot 207 = 52 \quad \text{min} = 0,87 \text{ h}$$

Trasarea diagramei de încălzire și răcire în cursul forjării se realizează pe hârtie milimetrică, alegând scări convenabile pentru temperatură și timp, utilizând valorile determinate anterior. Diagrama se prezintă în continuare.







TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

DETERMINAREA PARAMETRILOR TEHNOLOGICI LA REFULARE PRIN FORJARE MECANICĂ LIBERĂ



DETERMINAREA PARAMETRILOR TEHNOLOGICI LA REFULARE PRIN FORJARE MECANICĂ LIBERĂ

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare privind procesul tehnologic de deformare prin forjare liberă, utilajele folosite precum și determinarea parametrilor geometrici și energetici necesari în proiectarea tehnologiilor optime de prelucrare prin forjare mecanică liberă a materialelor metalice.



ELEMENTE TEORETICE

Forjarea este procedeul de deformare plastică care constă în modificarea formei și dimensiunilor unui semifabricat metalic datorită creării unei stări tensionale în volumul acestuia însoțită de curgerea lui pe diferite direcții sub acțiunea unor forțe statice sau dinamice.

Forjarea se clasifică după mai multe criterii, cum ar fi: după gradul de libertate al materialului în timpul deformării: *forjare liberă*, *de profilare* și *în matriță*; după temperatura de lucru: *la cald* și mai rar *la rece*; după viteza de deformare: cu *viteze mici* și cu *viteze mari*; după modul de acționare: *manuală* și *mecanică*.

Forjarea liberă se realizează prin presarea sau lovirea semifabricatelor între scule plane, curgerea metalului fiind liberă în plane perpendiculare pe direcția forței.

Procesele tehnologice de forjare liberă reprezintă combinații de câteva operații simple, numite *operații de bază*. Acestea sunt: refularea, întinderea, găurirea, îndoirea, răsucirea, sudarea, debitarea.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

Refularea este operația fundamentală a prelucrării prin forjare, prin care se micșorează înălțimea semifabricatului și se mărește secțiunea lui transversală, pentru un semifabricat cilindric fiind exemplificată în *Figura 7.1*.

Refularea se execută în următoarele scopuri: pentru obținerea unor piese cu secțiune transversală mare din semifabricate cu secțiune transversală mică; pentru obținerea pieselor de tipul flanșelor, roților dințate, discurilor etc.; ca operație prealabilă în vederea găuririi prin forjare.

La alegerea semifabricatului inițial se au în vedere *condițiile refulării*, care sunt:

- *gradul de deformare realizat prin refulare* ε_d să fie mai mic decât un grad de deformare limită admis de material ε_{da} , în condițiile considerate, deci:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} < \varepsilon_{da} \quad (7.1)$$

Mărimea gradului de deformare limită admis ε_{da} se stabilește prin încercări, până la apariția primelor fisuri la deformare continuă, pentru fiecare material în condițiile de deformare date. De exemplu, pentru oțelurile carbon obișnuite și slab aliate, $\varepsilon_{da} = 0,75 \div 0,85$.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

- *raportul de refulare* ψ_r , dintre înălțimea h_0 și diametrul d_0 (sau grosime), al semifabricatului trebuie să fie mai mic decât raportul de refulare limită admisibil ψ_{ra} pentru a se evita apariția flambajului în timpul refulării, deci:

$$\psi_r = \frac{h_0}{d_0} < \psi_{ra} . \quad (7.2)$$

Raportul ψ_{ra} depinde de proprietățile elasto-plastice ale materialului, de temperatura de deformare, de dimensiunile semifabricatului și de modul de aplicare a forței de deformare P_d . Determinarea analitică a raportului ψ_{ra} prezintă dificultăți, în special pentru temperaturi ridicate, datorită modificării proprietăților elasto-plastice. Pe baza rezultatelor experimentale, în practică se poate lucra cu bune rezultate dacă se acceptă $\psi_{ra} = 3$ pentru deformarea la rece și $\psi_{ra} = 2,2 \div 2,5$ pentru deformarea la cald.

Volumul de material supus deformării prin refulare poate să curgă plastic uniform în toată masa lui, *Figura 7.1(a)*, sau neuniform, *Figura 7.1(b)*.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

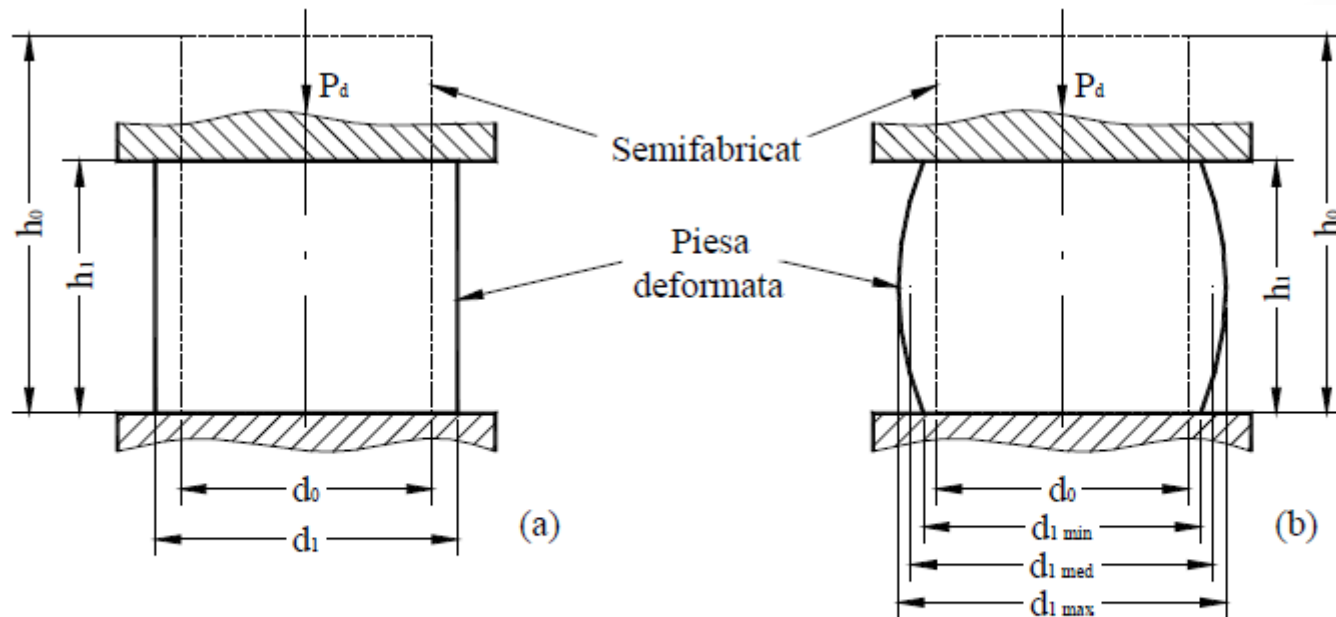


Figura 7.1. Schema refulării cu deformare uniformă (a) și neuniformă (b):

h_0, d_0 și h_1, d_1 – dimensiunile inițiale și respectiv finale ale semifabricatului;

P_d – forța de deformare.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

Ca operație de bază a proceselor tehnologice de forjare liberă, refularea poate fi considerată uniformă numai în condițiile:

- materialul supus deformării este omogen atât din punct de vedere al compoziției chimice, cât și din cel al proprietăților lui mecanice (izotrop);
- atunci când deformarea se realizează la cald, se presupune că se realizează o uniformitate perfectă a temperaturii în întregul volum al materialului;
- în același timp să fie supus acțiunii sculelor întregul volum de material, respectiv să nu existe zone din semifabricat care să rămână în afara acțiunii directe a sculelor;
- între suprafețele de contact dintre scule și semifabricat să nu existe frecare care să conducă la crearea de forțe exterioare suplimentare.

Dacă toate aceste condiții nu sunt îndeplinite simultan, refularea se realizează cu deformare neuniformă. Întrucât doar primele două pot fi practic îndeplinite, înseamnă că în realitate trebuie să se considere numai refularea cu deformare neuniformă.

În condiții normale de uzinare, refularea se va realiza întotdeauna cu deformare neuniformă, manifestată prin apariția unor zone în volumul materialului care au suferit refulări parțiale cu grade diferite de deformare. Neuniformitatea deformației la scară macro este pusă în evidență prin forma bombată (butoiată) obținută în urma refulării unui semifabricat cilindric, *Figura 7.1(b)*.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

Apariția formei butoiate, la semifabricatele cilindrice, ca urmare a neuniformității deformației, depinde pe de o parte de raportul de refulare ψ_r , iar pe de altă parte de valoarea forțelor de frecare de pe suprafața de contact dintre scule și material.

La rapoarte de refulare mari, $\psi_r = 2 \div 3$, *Figura 7.2(a) și (b)*, respectiv în cazul cilindrilor cu zveltețe mare, se formează în vecinătatea contactului cu sculele de lucru, la începutul deformării, două zone bombate (butoiate), iar la continuarea deformării aceste zone se contopesc, pe când la rapoarte de refulare mici, $\psi_r < 2$, *Figura 7.2(c)*, se formează o singură zonă butoiată și aceasta în partea de mijloc a semifabricatului.

ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

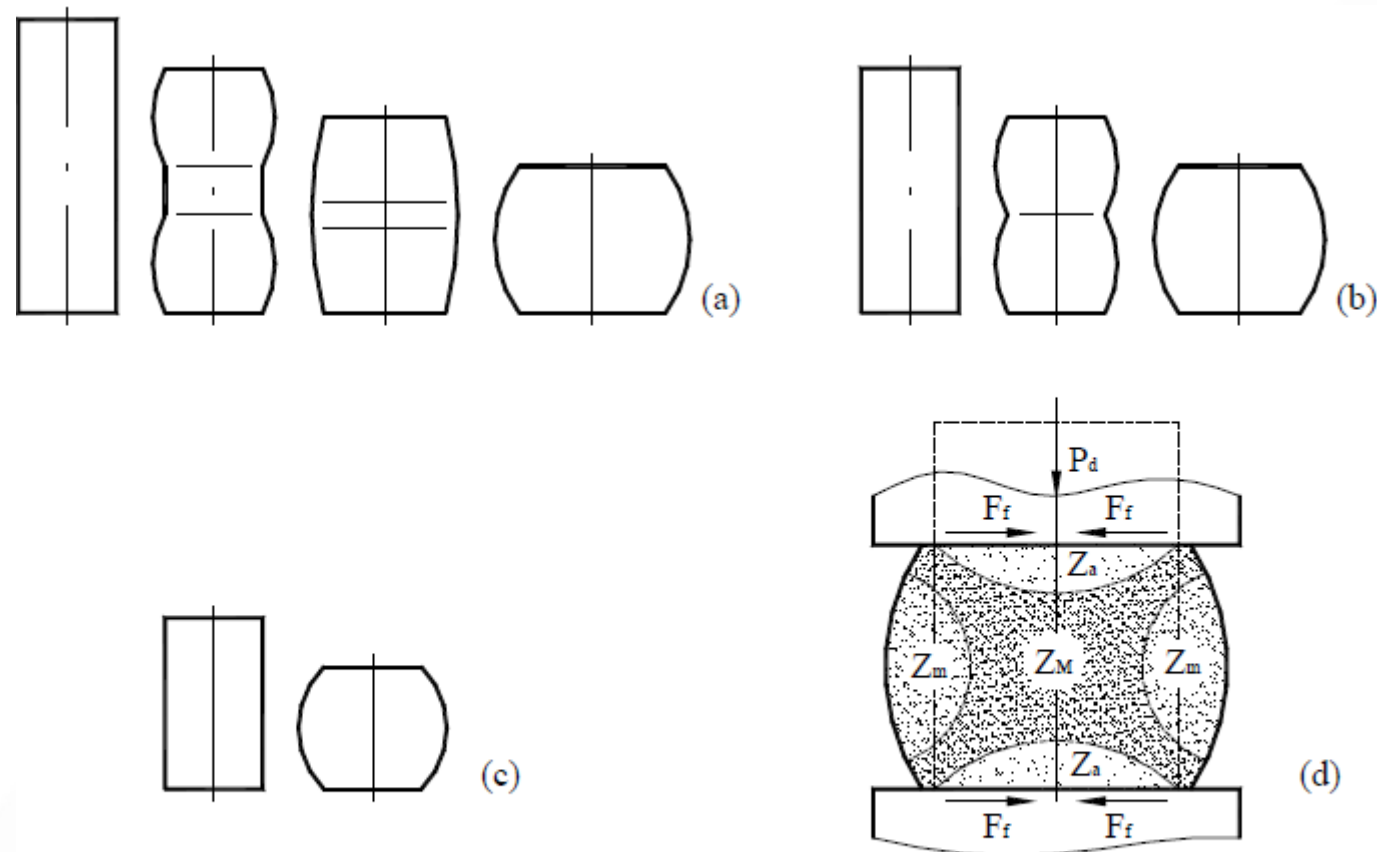


Figura 7.2. Refularea cu deformare neuniformă a unor semifabricate cilindrice:

(a) – cazul $\psi_\gamma = 2,5 \div 3$; (b) – cazul $\psi_\gamma = 2 \div 2,5$; (c) – cazul $\psi_\gamma < 2$;

(d) – reprezentarea zonelor de deformare.



ELEMENTE TEORETICE

Refularea prin forjare

Convexitatea depinde de mărimea și de distribuția forțelor de frecare pe suprafețele de contact cu sculele, F_f , *Figura 7.2(d)*. Aceste forțe frânează curgerea materialului din zonele imediat învecinate, deformarea producându-se mai pronunțat în zonele centrale. Acest fenomen face ca forma cilindrică să se transforme în formă butoiată, determinând apariția în volumul semifabricatului, din punct de vedere a intensității deformației, a trei zone de deformație, *Figura 7.2(d)*:

- *zona de aderență*, Z_a , este zona din semifabricat aflată în imediata vecinătate a sculelor de deformare, în care intensitatea deformației este mică;
- *zona deformațiilor mari*, Z_M , aflată în partea centrală a semifabricatului;
- *zona deformațiilor medii*, Z_m , aflată în partea centrală a suprafeței laterale a semifabricatului.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

Forjarea liberă sau în matriță se execută pe utilaje mecanice specializate: ciocane mecanice și prese hidraulice.

Ciocanele de forjă sunt utilaje dinamice, durata deformării prin șoc fiind de ordinul miimilor de secundă. Semifabricatul se deformează pe seama energiei dezvoltată de berbec sau echipamentul mobil al ciocanului. O parte din această energie se pierde în deformația elastică a sculelor și oscilațiile șabotei, pe care se montează nicovalele sau matrițele. Cu cât este mai mare masa șabotei, cu atât este mai ridicat randamentul ciocanului.

Ciocanele de forjă, alături de presele hidraulice de forjă, formează dotarea secțiilor de forjă, astfel:

- ciocanele pneumatice (cu simplu și cu dublu efect) se folosesc pentru forjări ușoare de piese mici și mijlocii;
- ciocanele cu aburi sau aer comprimat de la sursă (cu simplu și mai ales cu dublu efect) se folosesc pentru piese mijlocii și mari;
- presele mecanice cu fricțiune se folosesc pentru piese mici și serie mică;
- presele cu excentric se folosesc pentru debavurări (la matrițare);
- presele hidraulice sunt folosite pentru forjarea de piese mari și foarte mari.

În laborator, refularea se va executa pe ciocanul pneumatic cu autocompresie, de fabricație românească (Înfrățirea Oradea), cu vederea generală și principalele subansambluri prezentate în *Figura 7.3*.

ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

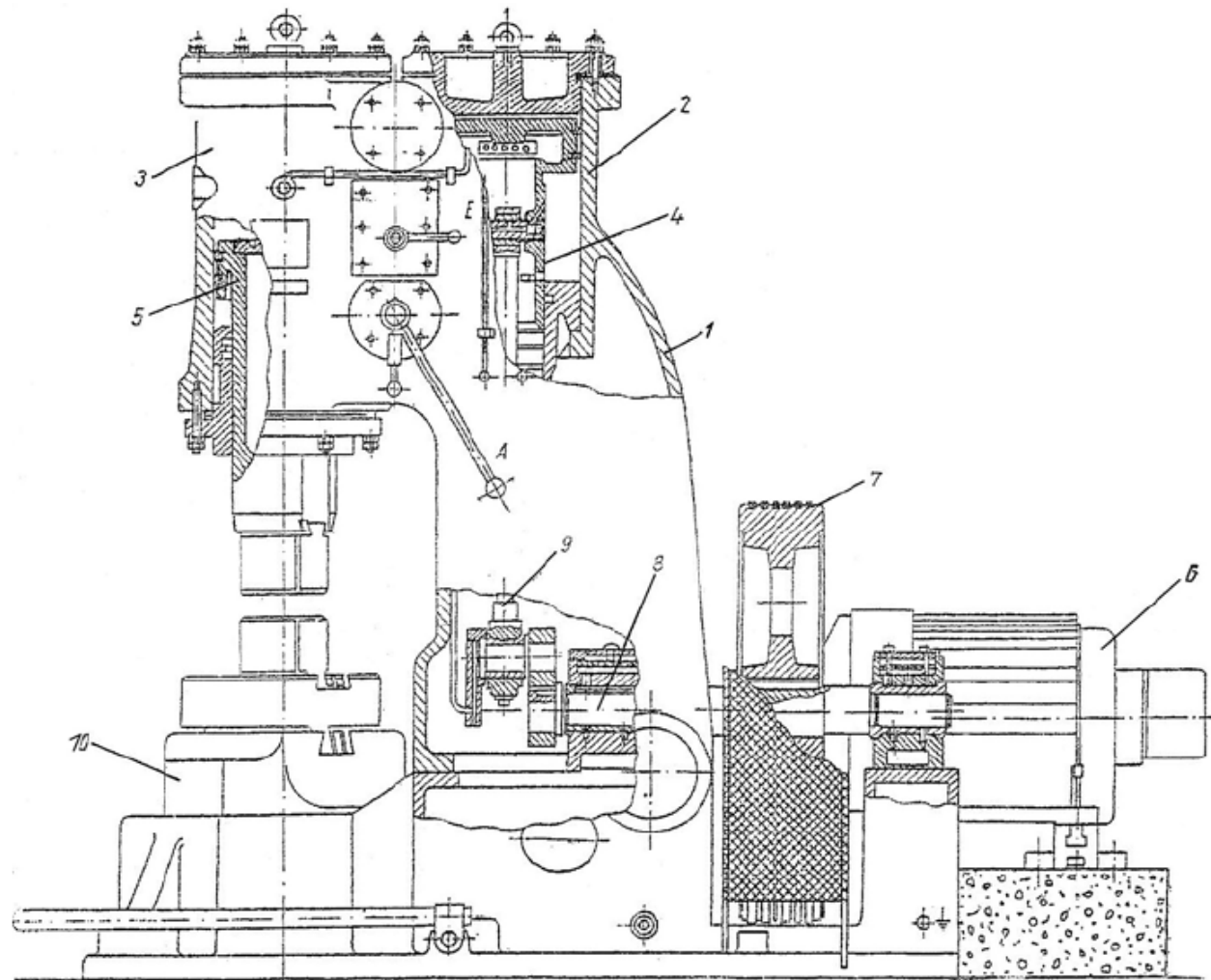


Figura 7.3. Ciocan pneumatic cu autocompresie:

1 – batiu; 2 – cilindru compresor; 3 – cilindru de lucru; 4 – piston compresor; 5 – piston de lucru
6 – motor electric; 7 – transmisie cu curele; 8 – arbore cu manivelă; 9 – bielă; 10 – șabotă.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

Comanda ciocanului se realizează prin trei robinete, acționate la rândul lor prin intermediul a două manete, notate în *Figura 7.3* cu *A* și *E*. Maneta *A* rotește robinetul inferior și superior, iar maneta *E* pe cel mediu.

Ciocanele cu autocompresie au următoarele moduri de funcționare: cu lovituri repetate, menținerea berbecului în poziție ridicat; presarea semifabricatului; lovituri individuale, mers în gol.

În *Figura 7.4* sunt arătate pozițiile distribuitoarelor pentru diferite moduri de lucru ale ciocanului.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

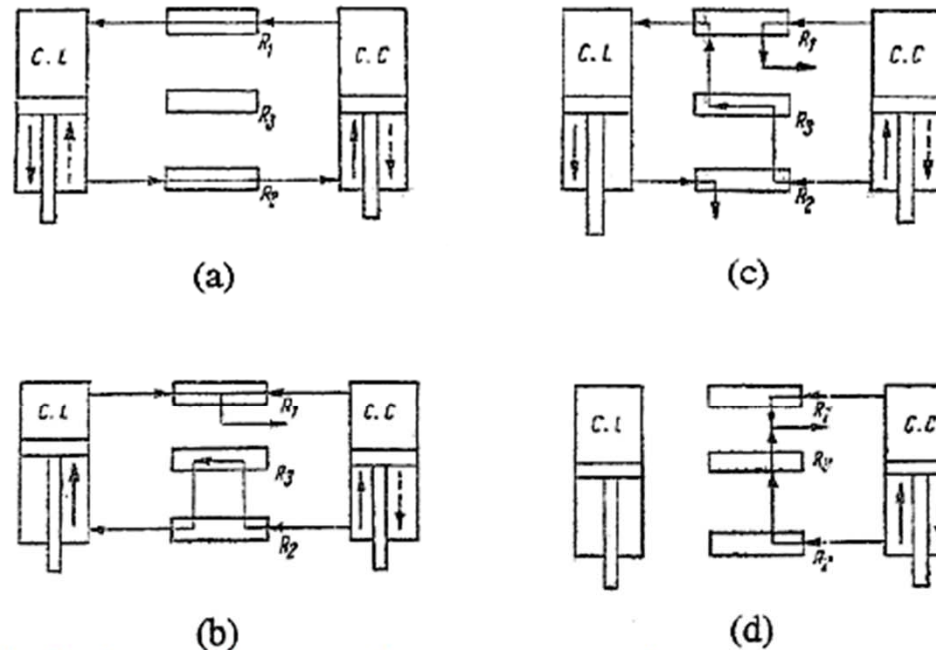


Figura 7.4. Distribuția ciocanului pneumatic cu autocompresie:

(a) – funcționare cu lovituri repetate; (b) – menținerea berbecului în poziție ridicat;

(c) – menținerea berbecului în poziția presat pe semifabricat; (d) – mers în gol.

CL și CC – cilindru de lucru și compresor; R_1 , R_2 , R_3 – robinet superior, inferior, mediu.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

În continuare se arată (*Figura 7.5*) pozițiile pistoanelor compresor și de lucru în funcție de unghiul de rotire al arborelui manivelă pentru funcționarea ciocanului *cu lovituri repetate*.

În *Figura 7.5(a)* se arată poziția de plecare a celor două pistoane ($\alpha_0 = 0^\circ$). În această poziție spațiul superior și cel inferior al cilindrului compresor comunică cu atmosfera datorită orificiilor practicate în pereții cilindrului și pistonului compresor. În aceleași spații ale cilindrului de lucru există tot presiunea atmosferică întrucât cei doi cilindri comunică total.

În *Figura 7.5(b)* se arată poziția pistoanelor când arborele cu manivelă s-a rotit de la unghiul α_0 la α_1 . În momentul în care arborele cu manivelă s-a rotit cu unghiul α_1 presiunea din spațiul inferior se mărește suficient de mult, ca să învingă rezistența aerului din spațiul superior al cilindrului, greutatea berbecului și forțele de frecare, iar berbecul se desprinde de pe nicovală și începe să se deplaseze în sus.

La rotirea arborelui cu manivelă de la unghiul α_1 la $\alpha_2 = 180^\circ$, *Figura 7.5(c)*, pistonul compresor continuă să coboare, iar cel de lucru urcă. Spațiul superior al cilindrului compresor, comunică total cu atmosfera prin orificiile practicate în pereții laterali ai pistonului și pereții cilindrului. La rotirea arborelui cu manivelă de la unghiul α_2 la α_3 , *Figura 7.5(d)*, ambele pistoane urcă. Pistonul de lucru, la unghiul α_3 închide canalul de legătură cu cilindrul compresor și intră în tamponul superior, format de aerul închis aici.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

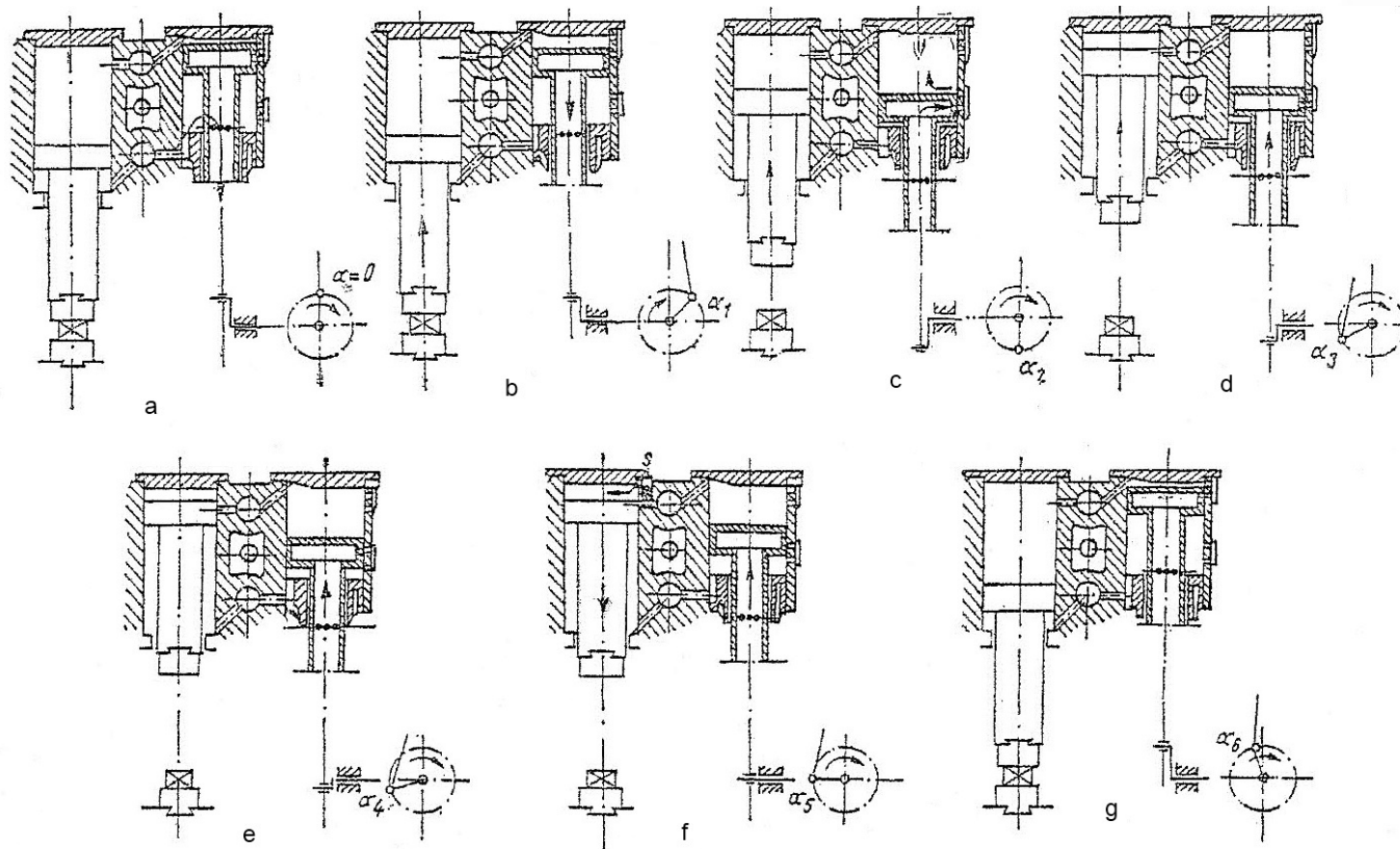


Figura 7.5. Modul de funcționare cu lovituri repetate a ciocanului pneumatic cu autocompresie.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

Pistonul de lucru își continuă mișcarea în sus în tampon corespunzător rotirii arborelui cu manivelă de la unghiul α_3 la α_4 , *Figura 7.5(e)*, când se oprește și începe sub acțiunea tamponului, să coboare. Pistonul compresor își continuă deplasarea în sus.

Spațiul superior al cilindrului compresor, va avea o presiune diferită de cea din tampon, întrucât legătura lui cu spațiul superior din cilindrul de lucru este întreruptă. Spațiile inferioare ale cilindrului compresor și de lucru continuă să rămână în legătură unul cu altul, iar presiunea aici va scădea, deoarece volumul total se micșorează (aceasta numai în intervalul $\alpha_3 \div \alpha_4$).

La rotirea arborelui cu manivelă de la α_4 la α_5 , *Figura 7.5(f)*, pistonul de lucru coboară, iar pistonul compresor urcă. Unghiul α_5 marchează „ieșirea” pistonului de lucru din tampon.

Comunicarea tamponului superior cu spațiul superior al cilindrului compresor, se realizează prin supapa s , în momentul în care presiunea aerului din tampon (care se micșorează prin ieșirea pistonului de lucru din tampon) devine egală cu presiunea, în creștere, a aerului din spațiul superior al cilindrului compresor. Legătura dintre spațiile superioare ale celor doi cilindri se face prin ridicarea bilei supapei sub acțiunea presiunii aerului din cilindrul compresor. Momentul decuplării tamponului se produce ceva mai repede ca muchia superioară a pistonului de lucru, să coincidă cu muchia superioară a canalului superior, de legătură între cilindri. La depășirea unghiului α_5 pistonul compresor se apropie de poziția sa superioară maximă, iar cel de lucru de cea inferioară.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

În intervalul $\alpha_5 \div \alpha_6$, *Figura 7.5(g)*, pistonul compresor mai urcă puțin, iar cel de lucru coboară. La unghiul $\alpha_6 < 360^\circ$ pistonul de lucru (berbecul) realizează lovitura, iar pistonul compresor ajunge în poziția superioară. Berbecul rămâne pe piesă în intervalul $\alpha_6 \div \alpha_1$.

La reînceperea unui ciclu de rotație a arborelui cu manivelă, mișcarea pistoanelor se repetă.

Dacă din ciclul de funcționare al unui ciocan pneumatic lipsește intervalul $\alpha_6 \div \alpha_1$, ciocanul lucrează prin ricoșare, iar efectul loviturii este mai mic decât în cazul anterior.

Caracteristicile tehnice ale ciocanului cu autocompresie de 63 kgf, fabricat de firma Înfrățirea Oradea se prezintă în *Tabelul 7.1*.



ELEMENTE TEORETICE

Utilaje pentru forjare. Ciocanul cu autocompresie

Tabelul 7.1. Caracteristicile tehnice ale ciocanului cu autocompresie de 63 kgf.

Nr. crt.	Caracteristica	Unitatea de măsură	Valoarea
1.	Masa berbecului, M	kg	63
2.	Energia maximă de lovire, $E_{c_{max}}$	N·m	1000
3.	Numărul de lovituri pe minut, n_l	-	220
4.	Cursa maximă a berbecului, H_{max}	mm	340
5.	Distanța de la axa berbecului la montant, D_g	mm	300
6.	Puterea motorului, P	kW	7,5
7.	Diametrul maxim al semifabricatului	mm	85
8.	Masa șabotei	kg	880

Pregătirea ciocanului cu autocompresie pentru lucru se face parcurgând etapele:

- se verifică existența legării la pământ a utilajului;
- se verifică izolația contactelor;
- se conectează întrerupătorul automat de protecție;
- se pornește utilajul acționând butonul verde al comutatorului de pe panoul lateral al ciocanului;
- se fixează maneta E a distribuitorului în poziția corespunzătoare modului de lucru;
- prin manevrarea manetei A sau prin apăsarea pedalei se poate executa lovitura. Aplicarea loviturii se face numai cu semifabricatul poziționat pe nicovala inferioară.

Oprirea ciocanului se face prin acționarea butonului roșu al comutatorului de pe utilaj și deconectarea întrerupătorului automat de protecție.



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Proiectarea proceselor tehnologice de refulare pe ciocane, la producția de serie și masă, presupune cunoașterea condițiilor și parametrilor tehnologici ai refulării la o lovitură, elemente care determină eficiența procedurii (productivitate maximă în condițiile unui consum energetic minim) și concură la obținerea calității prescrise a pieselor forjate.

Principalii parametri tehnologici urmăriți la refularea pe ciocane la o lovitură sunt: gradul de refulare; diametrul mediu al semifabricatului cilindric refulat; energia de lovire; lucrul mecanic de deformare; rezistența la deformare.

Gradul de refulare φ_d . Pentru definirea deformațiilor la refulare, respectiv a modificării formei și dimensiunilor, se utilizează în scopul calculului practic, în principal, două formulări – *gradul de deformare ε_d* și *gradul de refulare φ_d* , care vor fi explicitate prin exemplul încercării la compresiune a unei epruvete cilindrice, *Figura 7.6*.

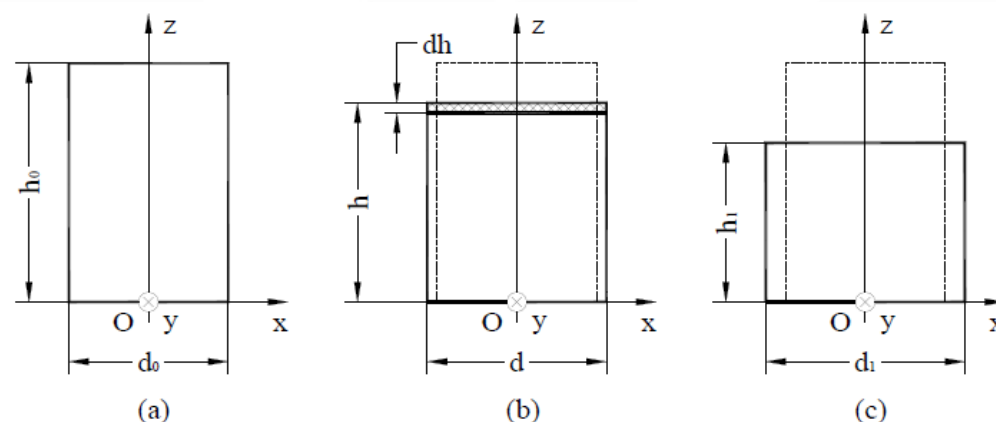


Figura 7.6. Încercarea la compresiune (refulare):

- (a) – epruveta inițială;
- (b) – epruveta în cursul deformării;
- (c) – epruveta deformată.



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Variația elementară a „gradului” de deformare $d\varepsilon$, reprezintă variația elementară a înălțimii epruvetei $-dh$ (semnul „-” corespunde compresiunii) raportată la înălțimea inițială a epruvetei h_0 , deci:

$$d\varepsilon = -\frac{dh}{h_0}, \quad (7.3)$$

iar prin integrare, în limitele $0 \rightarrow \varepsilon_d$ și $h_0 \rightarrow h_1$, rezultă:

$$\int_0^{\varepsilon_d} d\varepsilon = -\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h_0} \text{ sau } \varepsilon|_0^{\varepsilon_d} = -\frac{1}{h_0} \cdot h|_{h_0}^{h_1},$$

de unde se deduce relația pentru calculul *gradului de deformare*:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0}. \quad (7.4)$$

Pe de altă parte, variația elementară a gradului de refulare $d\varphi$ reprezintă variația elementară a înălțimii epruvetei $-dh$ raportată la înălțimea instantanee h , deci:

$$d\varphi = -\frac{dh}{h}, \quad (7.5)$$

din care prin integrare în limitele $0 \rightarrow \varphi_d$ și $h_0 \rightarrow h_1$, rezultă:

$$\int_0^{\varphi_d} d\varphi = -\int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} \text{ sau } \varphi|_0^{\varphi_d} = -\ln h|_{h_0}^{h_1},$$



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

de unde se deduce relația pentru calculul *gradului de refulare*:

$$\varphi_d = \ln \frac{h_0}{h_1}. \quad (7.6)$$

Utilizarea gradului de refulare oferă avantaje referitoare la tehnica calculului. Astfel, în cazul mai multor faze de deformare, modificarea totală a formei și dimensiunilor este egală cu suma modificărilor parțiale. De exemplu, pentru realizarea unei piese prin n faze de refulare se poate scrie:

$$\varphi_{d_{total}} = \ln \frac{h_0}{h_n} = \ln \left(\frac{h_0}{h_1} \cdot \frac{h_1}{h_2} \cdot \dots \cdot \frac{h_{n-1}}{h_n} \right) = \ln \frac{h_0}{h_1} + \ln \frac{h_1}{h_2} + \dots + \ln \frac{h_{n-1}}{h_n} = \varphi_{d_1} + \varphi_{d_2} + \dots + \varphi_{d_n} \quad (7.7)$$

în care: $h_i, i = \overline{1, n}$ reprezintă înălțimile semifabricatului după fiecare fază de refulare;

$\varphi_{d_i}, i = \overline{1, n}$ sunt gradele de refulare parțiale.

Datorită acestui avantaj este necesară stabilirea relației dintre gradul de refulare φ_d și gradul de deformare ε_d . Astfel:

$$\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = 1 - \frac{h_1}{h_0} \text{ sau } \frac{h_0}{h_1} = \frac{1}{1 - \varepsilon_d},$$

de unde, prin logaritmare se deduce

$$\varphi_d = -\ln(1 - \varepsilon_d). \quad (7.8)$$



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Diametrul mediu al semifabricatului cilindric deformat $d_{l_{med}}$ se determină ținând seama că deformarea se produce radial și utilizând legea volumului constant. Astfel, cu notațiile din *Figura 7.1* se poate scrie:

$$V_0 = V_1 \text{ sau } \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot d_{l_{med}}^2}{4} \cdot h_1,$$

de unde:

$$d_{l_{med}} = d_0 \cdot \sqrt{\frac{h_0}{h_1}} \text{ [mm]}. \quad (7.9)$$

În cazul semifabricatelor prismatice, dimensiunile medii în plan transversal pe direcția forței se determină utilizând atât legea volumului constant, cât și legea minimei rezistențe.

Energia de lovire, E_c , reprezintă energia cinetică acumulată până în momentul aplicării loviturii și se determină cu relația:

$$E_c = \frac{m_e \cdot v_a^2}{2} \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad (7.10)$$

în care: m_e este masa echivalentă la lovire, în kg;

v_a – viteza berbecului în momentul atingerii semifabricatului, în m/s.



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Masa echivalentă m_e se determină utilizând relația:

$$m_e = \frac{G + F_a}{g} \text{ [kg]}, \quad (7.11)$$

în care: G este greutatea berbecului, în N (Tabelul 7.1);
 F_a – forța de antrenare a berbecului;
 g – accelerația gravitațională, $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Forța de antrenare a berbecului F_a reprezintă diferența dintre forța F exercitată de aerul comprimat asupra pistonului de lucru și forța de frecare F_f dintre piston și cilindrul de lucru al ciocanului. Astfel:

$$F_a = F - F_f \text{ [N]} \quad (7.12)$$

Forța F se determină cu relația:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \Delta p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (p_s - p_i) \text{ [N]} \quad (7.13)$$

în care: d este diametrul pistonului de lucru, în m;
 Δp – diferența de presiune dintre presiunea aerului din partea superioară a pistonului de lucru p_s și presiunea din partea inferioară a acestuia p_i .



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Pentru ciocanul cu autocompresie de 63 kgf, $d = 0,2$ m, iar în momentul aplicării loviturii $\Delta p \cong 2,5 \cdot 10^4$ Pa.

Forța F_f se consideră ca fiind o fracțiune din greutatea berbecului, iar în condiții normale de utilizare a ciocanului cu autocompresie,

$$F_f = \frac{1}{10} Mg \text{ [N]} \quad (7.14)$$

Viteza berbecului v_a în momentul atingerii semifabricatului se determină cu relația:

$$v_a = \sqrt{2aH} \text{ [m/s]}, \quad (7.15)$$

în care: a este accelerația berbecului, în m/s^2 ;
 H – cursa berbecului, în m.

Accelerația berbecului se calculează, ținând seama de forța de antrenare, astfel:

$$a = \frac{G + F_a}{G} \cdot g \text{ [m/s}^2\text{]}. \quad (7.16)$$

Cursa berbecului se determină în funcție de cursa maximă a berbecului H_{max} și înălțimea inițială a semifabricatului h_0 la lovitura curentă, cu relația:

$$H = H_{max} - h_0 \text{ [m]}. \quad (7.17)$$



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Lucrul mecanic de deformare, L_d . Energia de lovire nu se transformă integral în lucru mecanic de deformare, deoarece o cantitate din aceasta este consumată de elasticitatea sistemului, deci există un randament al loviturii η_l , care în cazul ciocanelor cu autocompresie are valoarea $\eta_l = 0,7$. Acest randament poate fi mărit prin mărirea rigidității sistemului. Prin urmare, se poate spune că:

$$L_d = \eta_l \cdot E_c \text{ [N}\cdot\text{m]}. \quad (7.18)$$

Rezistența la deformare R_d . Lucrul mecanic necesar pentru refulare, în teoria plasticității, se determină utilizând ecuațiile diferențiale de echilibru în timpul deformării. În cazul deformațiilor mari (cele folosite curent în practică), se ține seama de frecare prin coeficientul μ , iar expresia lucrului mecanic de deformare, are forma:

$$L_d = R_d \cdot V_0 \cdot \left[\ln \frac{h_0}{h_1} + \frac{2}{9} \cdot \mu \cdot \left(\frac{d_1}{h_1} - \frac{d_0}{h_0} \right) \right]. \quad (7.19)$$

În cazul refulării pe ciocane, la o lovitură, expresia $\frac{d_1}{h_1} - \frac{d_0}{h_0} \rightarrow 0$. Astfel, din relația (7.19) se deduce relația pentru determinarea rezistenței maxime la deformare:

$$R_d = \frac{L_d}{V_0 \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}} \text{ [Pa]} \text{ sau } R_d = 10^{-6} \frac{L_d}{V_0 \cdot \varphi_d} \text{ [MPa]}. \quad (7.20)$$



ELEMENTE TEORETICE

Parametrii tehnologici la refulare

Relațiile teoretice pentru calculul rezistenței la deformare nu pot lua în considerare toți factorii care au influență asupra acesteia, cum ar fi: limita de curgere a materialului care se deformează, frecarea dintre material și scule, viteza de deformare, temperatura la care se deformează materialul, forma și dimensiunile semifabricatului etc.

În majoritatea cazurilor, influența diferiților factori asupra rezistenței la deformare se determină experimental.



EXPERIMENT

Încercările experimentale se execută pe epruvete cilindrice din oțel carbon, la cald, în condițiile refulării, urmărindu-se determinarea parametrilor tehnologici la o lovitură pe ciocanul cu autocompresie și punerea în evidență a variației rezistenței la deformare și gradului de refulare cu temperatura



EXPERIMENT

Condiții experimentale

În vederea efectuării lucrării practice sunt necesare:

- patru epruvete din OLC 15 STAS 880-88 cu dimensiunile $d_0 = 20$ mm și $h_0 = 30$ mm;
- cuptor cu rezistență pentru încălzirea epruvetelor la temperatura de început de deformare;
- ciocan cu autocompresie de 63 kgf, tip Înfrățirea Oradea;
- scule de forjare (clești) pentru manevrarea epruvetelor supuse refulării;
- șubler de precizie 0,1 mm pentru măsurarea dimensiunilor epruvetelor;
- echipament de protecție.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

Partea practică a lucrării se desfășoară prin parcurgerea etapelor, operațiilor și fazelor care fundamentează din punct de vedere aplicativ, elementele teoretice cuprinse în prezentarea procedurii refulării prin forjare mecanică liberă.

- Primirea temei și studiul acesteia.
- Încălzirea semifabricatelor în vederea refulării:
 - verificarea dimensiunilor inițiale ale epruvetelor;
 - stabilirea temperaturilor de deformare pentru fiecare epruvetă, respectiv $\theta_{d_1} = 900^{\circ}C$, $\theta_{d_2} = 1000^{\circ}C$, $\theta_{d_3} = 1100^{\circ}C$ și $\theta_{d_4} = 1200^{\circ}C$;
 - introducerea epruvetelor în cuptor.
- Executarea refulării pentru fiecare epruvetă:
 - pornirea ciocanului cu autocompresie;
 - scoaterea epruvetei din cuptor la temperatura prescrisă și așezarea acesteia pe nicovala inferioară a ciocanului;
 - executarea loviturii;
 - oprirea utilajului.
- Preluarea datelor experimentale, după răcire, pentru fiecare epruvetă:
 - înălțimea finală, h_1 ;
 - diametrul maxim al epruvetei, $d_{1_{max}}$.



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Datele preluate din temă precum și cele experimentale obținute în urma refulării se centralizează în *Tabelul 7.2*.

Tabelul 7.2. Date inițiale și experimentale.

Material STAS 880-88	Condițiile refulării		Dimensiuni inițiale		Temperatura de deformare, θ_d [°C]								
					$\theta_{d_1} = 900$		$\theta_{d_2} = 1000$		$\theta_{d_3} = 1100$		$\theta_{d_4} = 1200$		
	ε_{da} [-]	ψ_{ra} [-]	h_0 [mm]	d_0 [mm]	Dimensiuni finale								
					h_1 [mm]	$d_{1_{max}}$ [mm]	h_1 [mm]	$d_{1_{max}}$ [mm]	h_1 [mm]	$d_{1_{max}}$ [mm]	h_1 [mm]	$d_{1_{max}}$ [mm]	



EXPERIMENT

Prelucrarea rezultatelor experimentale

Pe baza rezultatelor experimentale se determină parametri tehnologici utilizând relațiile de calcul prezentate în partea teoretică a lucrării. Parametri tehnologici calculați se centralizează în *Tabelul 7.3*.

Tabelul 7.3. Parametri tehnologici.

Epruveta	θ_d [°C]	Parametrii condițiilor refulării realizați		Parametrii tehnologici				
		ε_d [-]	ψ_r [-]	φ_d [-]	$d_{l_{med}}$ [mm]	E_c [N·m]	L_d [N·m]	R_d [MPa]
1	$\theta_{d_1} = 900$							
2	$\theta_{d_2} = 1000$							
3	$\theta_{d_3} = 1100$							
4	$\theta_{d_4} = 1200$							

În același sistem de coordonate, pe hârtie milimetrică se trasează variația rezistenței la deformare R_d și a gradului de refulare φ_d în funcție de temperatura de deformare θ_d . Se vor considera scări convenabile pentru fiecare parametru.

În vederea aprecierii macro a tipului deformării (uniformă sau neuniformă) și a gradului de refulare cu temperatura, atât epruveta inițială, cât și cele deformate se vor schița la scară.



EXPERIMENT

Interpretarea rezultatelor experimentale

În urma prelucrării rezultatelor experimentale se vor urmări în principal:

- respectarea condițiilor refulării;
- variația rezistenței la deformare R_d cu temperatura de deformare θ_d ;
- variația gradului de refulare realizat φ_d în funcție de temperatura de deformare θ_d ;
- variația celorlalți parametri tehnologici cu temperatura de deformare;
- aprecierea tipului deformării;
- posibilitatea alegerii mărimii utilajului de refulare pe criterii energetice;
- posibilitatea determinării numărului de lovituri necesare pentru realizarea unei piese prin refulare, fie pe criterii energetice, fie pe criterii dimensionale, în vederea stabilirii tehnologiei optime de forjare.



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, studenții vor participa direct la experiment și preluarea datelor experimentale. În continuare studenții vor primi teme individuale (*Tabelul 7.4*) privind determinarea parametrilor tehnologici la refulare prin forjare mecanică liberă.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării. Un exemplu de referat este prezentat în **Anexa 7**.



APLICAȚII

Tabelul 7.4. Aplicații privind determinarea parametrilor tehnologici la refulare prin forjare liberă.

Cod aplicație	Material STAS 880-88	Condițiile refulării		Dimensiuni inițiale		Temperatura de deformare, θ_d [°C]							
		ε_{da} [-]	ψ_{ra} [-]	h_0 [mm]	d_0 [mm]	$\theta_{d_1} = 900$	$\theta_{d_2} = 1000$	$\theta_{d_3} = 1100$	$\theta_{d_4} = 1200$	Dimensiuni finale			
						h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]
DPTR-1	OLC 15	0,85	2,5	22	20	14,1	26,0	12,7	27,3	11,3	28,9	10,1	30,5
DPTR-2	OLC 15	0,85	2,5	24	20	16,0	25,5	14,5	26,7	13,1	28,1	11,8	29,5
DPTR-3	OLC 15	0,85	2,5	26	20	17,9	25,1	16,4	26,2	14,9	27,4	13,6	28,7
DPTR-4	OLC 15	0,85	2,5	28	20	19,9	24,7	18,3	25,7	16,7	26,9	15,4	28,0
DPTR-5	OLC 15	0,85	2,5	30	20	21,8	24,4	20,2	25,3	18,6	26,4	17,2	27,4
DPTR-6	OLC 15	0,85	2,5	32	20	23,8	24,2	22,2	25,0	20,5	26,0	19,0	26,9
DPTR-7	OLC 15	0,85	2,5	34	20	25,8	24,0	24,1	24,7	22,4	25,6	20,9	26,5
DPTR-8	OLC 15	0,85	2,5	36	20	27,8	23,8	26,1	24,5	24,4	25,3	22,8	26,1
DPTR-9	OLC 15	0,85	2,5	38	20	29,8	23,6	28,1	24,3	26,3	25,0	24,8	25,8
DPTR-10	OLC 35	0,80	2,4	22	20	14,7	25,5	13,3	26,7	11,8	28,3	10,4	30,1
DPTR-11	OLC 35	0,80	2,4	24	20	16,6	25,1	15,1	26,2	13,6	27,6	12,1	29,1
DPTR-12	OLC 35	0,80	2,4	26	20	18,5	24,7	17,0	25,7	15,4	26,9	13,9	28,3
DPTR-13	OLC 35	0,80	2,4	28	20	20,5	24,4	19,0	25,3	17,3	26,4	15,7	27,7
DPTR-14	OLC 35	0,80	2,4	30	20	22,4	24,1	20,9	25,0	19,2	26,0	17,6	27,1
DPTR-15	OLC 35	0,80	2,4	32	20	24,4	23,9	22,9	24,7	21,1	25,6	19,4	26,7
DPTR-16	OLC 35	0,80	2,4	34	20	26,4	23,7	24,8	24,4	23,1	25,3	21,3	26,2



Anexa 7

Să se determine parametrii tehnologici la refularea prin forjare mecanică liberă a unor epruvete din oțel carbon de calitate, la cald. Cod aplicație: DPTR-5.

Date inițiale și experimentale

Cod aplicație	Material STAS 880-88	Condițiile refulării		Dimensiuni inițiale		Temperatura de deformare, θ_d [°C]							
						$\theta_{d_1} = 900$		$\theta_{d_2} = 1000$		$\theta_{d_3} = 1100$		$\theta_{d_4} = 1200$	
		ε_{da} [-]	ψ_{ra} [-]	h_0 [mm]	d_0 [mm]	Dimensiuni finale							
						h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]	h_1 [mm]	d_{1max} [mm]
DPTR-5	OLC 15	0,85	2,5	30	20	21,8	24,4	20,2	25,3	18,6	26,4	17,2	27,4

Verificarea condițiilor refulării, pe baza relațiilor (7.1) și (7.2):

▪ *gradul de deformare:*

- pentru θ_{d_1} : $\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{30 - 21,8}{30} = 0,27 < 0,85 = \varepsilon_{da}$;

- pentru θ_{d_2} : $\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{30 - 20,2}{30} = 0,33 < 0,85 = \varepsilon_{da}$;

- pentru θ_{d_3} : $\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{30 - 18,6}{30} = 0,38 < 0,85 = \varepsilon_{da}$;

- pentru θ_{d_4} : $\varepsilon_d = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{30 - 17,2}{30} = 0,43 < 0,85 = \varepsilon_{da}$;

▪ *raportul de refulare:*

$$\psi_r = \frac{h_0}{d_0} = \frac{30}{20} = 1,5 < 2,5 = \psi_{ra} .$$



Anexa 7

Calculul parametrilor tehnologici se face pentru fiecare temperatură de deformare:

- *gradul de refulare:*
 - pentru θ_{d_1} : $\varphi_d = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{30}{21,8} = 0,32$;
 - pentru θ_{d_2} : $\varphi_d = \ln \frac{30}{20,2} = 0,39$;
 - pentru θ_{d_3} : $\varphi_d = \ln \frac{30}{18,6} = 0,48$;
 - pentru θ_{d_4} : $\varphi_d = \ln \frac{30}{17,2} = 0,56$;
- *diametrul mediu al semifabricatului deformat:*
 - pentru θ_{d_1} : $d_{1_{med}} = d_0 \cdot \sqrt{\frac{h_0}{h_1}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{30}{21,8}} = 23,4 \text{ mm}$;
 - pentru θ_{d_2} : $d_{1_{med}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{30}{20,2}} = 24,3 \text{ mm}$;
 - pentru θ_{d_3} : $d_{1_{med}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{30}{18,6}} = 25,4 \text{ mm}$;
 - pentru θ_{d_4} : $d_{1_{med}} = 20 \cdot \sqrt{\frac{30}{17,2}} = 26,4 \text{ mm}$;



Anexa 7

- *energia cinetică de lovire* nu depinde de temperatura semifabricatului. Inițial, se determină în ordine:

- forța de antrenare:

$$F_a = F - F_f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \Delta p - \frac{1}{10} \cdot M \cdot g = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 2,5 \cdot 10^4 - \frac{1}{10} \cdot 63 \cdot 10 = 722 \text{ N};$$

- masa echivalentă:

$$m_e = \frac{G + F_a}{g} = \frac{630 + 722}{10} = 135 \text{ kg};$$

- accelerația berbecului:

$$a = \frac{G + F_a}{G} \cdot g = \frac{630 + 722}{630} \cdot 10 = 21,5 \text{ m/s}^2;$$

- cursa berbecului:

$$H = H_{\max} - h_0 = 0,34 - 0,03 = 0,31 \text{ m};$$

- viteza berbecului:

$$v_a = \sqrt{2aH} = \sqrt{2 \cdot 21,5 \cdot 0,31} = 3,7 \text{ m/s};$$

Cu aceste date se poate calcula energia cinetică de lovire:

$$E_c = \frac{m_e \cdot v_a^2}{2} = \frac{135 \cdot 3,7^2}{2} = 900 \text{ N} \cdot \text{m};$$

- *lucrul mecanic de deformare*, de asemenea, nu depinde de temperatura semifabricatului:

$$L_d = \eta_l \cdot E_c = 0,7 \cdot 900 = 630 \text{ N} \cdot \text{m};$$

- *rezistența la deformare*. Inițial, se determină volumul semifabricatului,

$$V_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \cdot h_0 = \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 0,03 = 9,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3, \text{ iar în continuare:}$$

Anexa 7

- pentru θ_{d_1} : $R_d = 10^{-6} \frac{L_d}{V_0 \cdot \varphi_d} = 10^{-6} \frac{630}{9,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,32} = 210 \text{ MPa};$
- pentru θ_{d_2} : $R_d = 10^{-6} \frac{630}{9,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,39} = 170 \text{ MPa};$
- pentru θ_{d_3} : $R_d = 10^{-6} \frac{630}{9,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,48} = 140 \text{ MPa};$
- pentru θ_{d_4} : $R_d = 10^{-6} \frac{630}{9,4 \cdot 10^{-6} \cdot 0,56} = 120 \text{ MPa}.$

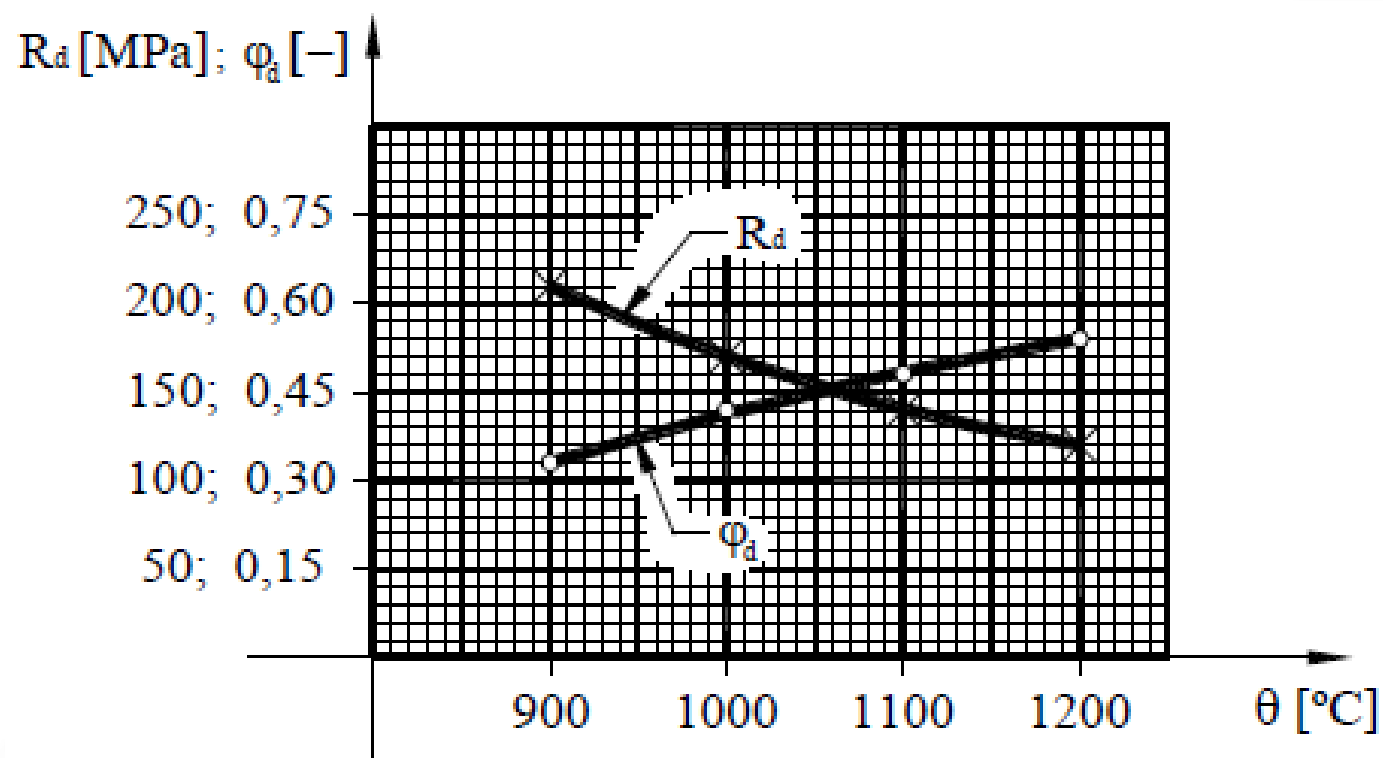
Parametrii tehnologici calculați se centralizează în tabelul următor:

Epruveta	θ_d [°C]	Parametrii condițiilor refulării realizați		Parametrii tehnologici				
		ε_d [-]	ψ_r [-]	φ_d [-]	$d_{l_{med}}$ [mm]	E_c [N·m]	L_d [N·m]	R_d [MPa]
1	$\theta_{d_1} = 900$	0,27	1,5	0,32	23,4	900	630	210
2	$\theta_{d_2} = 1000$	0,33	1,5	0,39	24,3	900	630	170
3	$\theta_{d_3} = 1100$	0,38	1,5	0,48	25,4	900	630	140
4	$\theta_{d_4} = 1200$	0,43	1,5	0,56	26,4	900	630	120

Trasarea diagramei de variație $R_d = R_d(\theta)$ și $\varphi_d = \varphi_d(\theta)$

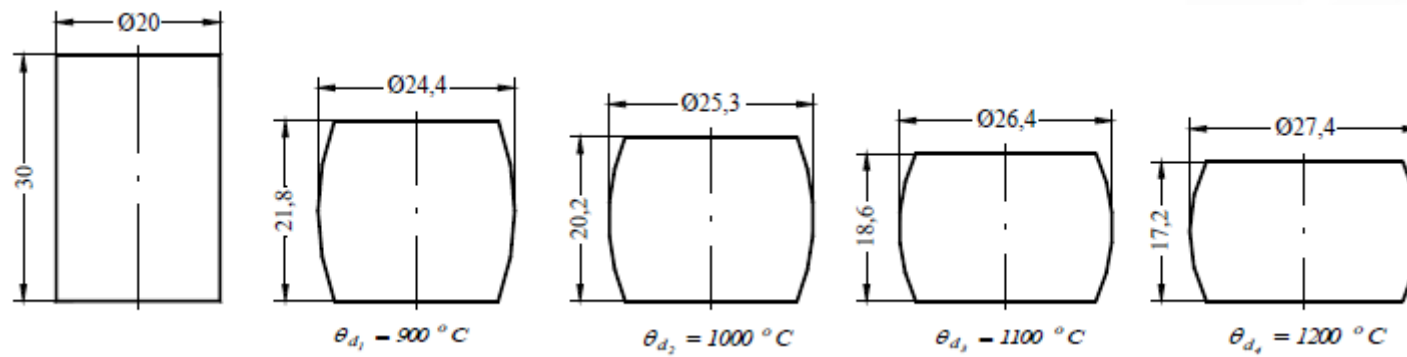


Anexa 7



Anexa 7

Epruveta inițială și epruvetele deformate

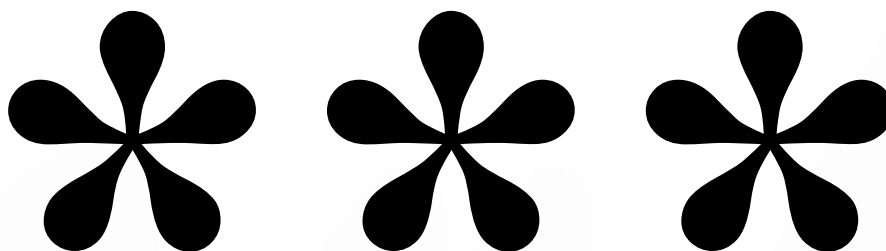




Anexa 7

Interpretarea rezultatelor experimentale. Din prelucrarea datelor experimentale rezultă:

- în toate cazurile, ambele condiții ale refulării se respectă;
- rezistența la deformare scade cu creșterea temperaturii de deformare;
- gradul de refulare crește cu creșterea temperaturii de deformare;
- epruvetele deformate au formă butoiată, de unde se deduce că deformarea este neuniformă;
- în funcție de energia necesară pentru realizarea gradului de deformare impus, se poate alege utilajul care dezvoltă energia pentru realizarea piesei la o lovitură sau la un număr minim de lovituri, cu respectarea condițiilor refulării.





TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Tehnologia sudării prin topire cu arc electric
cu electrozi înveliți



ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

Sudarea este metoda de îmbinare nedemontabilă a două piese care constă în stabilirea legăturii chimice între suprafețele de îmbinat, legătură care se realizează prin încălzire, prin presiune sau combinat, cu sau fără aport de material din afară.

Prin *sudură* se înțelege rezultatul operației de sudare, adică îmbinarea sudată, iar prin *cusătură sudată* se definește acea zonă a îmbinării în care s-a stabilit legătura chimică între suprafețele de îmbinat.

Metalul din zona îmbinării aparținând pieselor ce se sudează se numește *metal de bază*, iar cel din afară, care eventual se adaugă între suprafețele care se îmbină, se numește *metal de adaos*.



TEHNOLOGIA SUDĂRII PRIN TOPIRE CU ARC ELECTRIC CU ELECTROZI ÎNVELIȚI

Lucrarea pune la dispoziție cunoștințele necesare, teoretice și practice, privind procedeul sudării electrice manuale cu electrozi înveliți.

Rezultatele experimentale prelucrate (parametrii tehnologici) sunt utilizate pentru determinarea consumului energetic, normarea consumului de electrozi și a timpului de sudare, elemente care condiționează proiectarea proceselor tehnologice în vederea realizării structurilor sudate.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

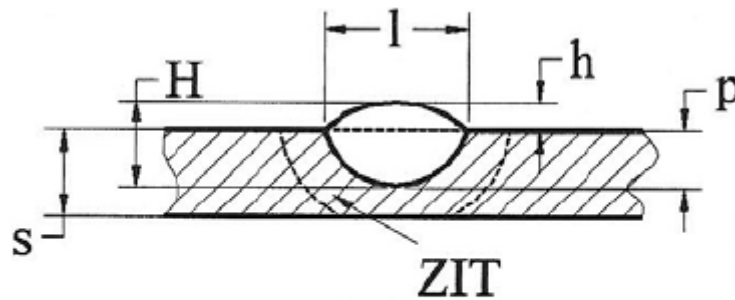


Figura 11.1. Schema sudurii.

l – lățimea cusăturii; p – pătrunderea; h – supraînălțarea; H – grosimea cusăturii; s – grosimea piesei; ZIT – zona influențată termic.

Spațiul dintre piesele de sudat, care urmează să fie umplut cu metalul de adaos se numește *rost*.

Porțiunea din metalul de bază vecină cusăturii, în care se produc modificări structurale datorate încălzirii peste o anumită temperatură se numește *zonă influențată termic (ZIT)*.

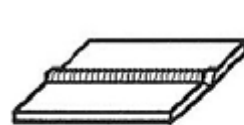
În *Figura 11.1* se prezintă o cusătură sudată, în secțiune, cu geometria care o definește.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

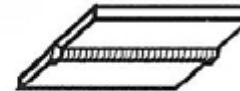
Poziția de sudare, *Figura 11.2*, constituie un factor de bază în realizarea unei îmbinări sudate. Dificultățile legate de depunerea materialului de adaos și de realizarea în



orizontală



verticală



pe plafon

Figura 11.2. Poziții de sudare.

ansamblu a cusăturii crește în funcție de poziția de sudare, în ordinea: poziție *orizontală* – *verticală* – *pe plafon* (peste cap).



ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

Realizarea unei suduri prin topire cu arc electric presupune parcurgerea următoarelor faze:

- formarea băii metalice, prin topirea locală a metalului de bază și de adaos în zona rostului;
- solidificarea băii metalice cu formarea cusăturii sudate.

Sursa termică necesară pentru formarea băii metalice este arcul electric, format între electrod și piesa de sudat prin conectarea acestora la o sursă de curent de sudare. Temperatura arcului electric (5000 K în coloana centrală) asigură topirea vârfului electrodului și transportul metalului topit spre piesele de sudat.

ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

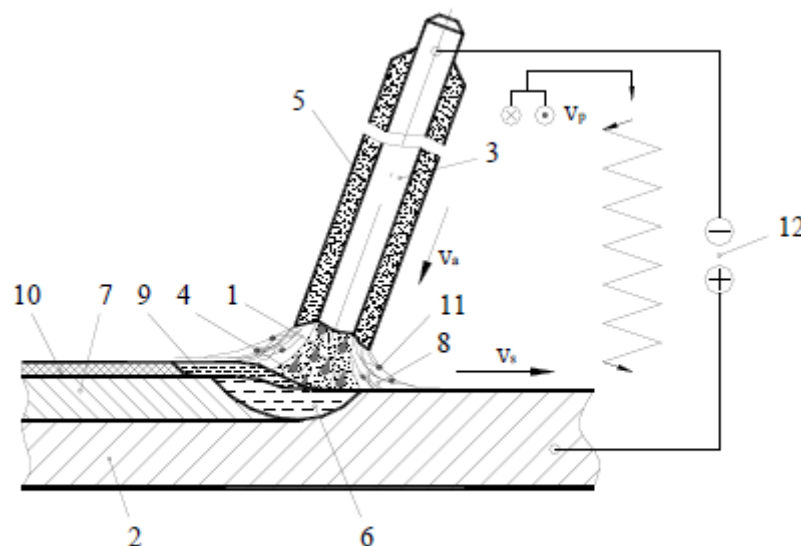


Figura 11.3. Schema de principiu a sudării cu arc electric

protectoare 8, iar cealaltă parte se topește rezultând o baie de zgură lichidă 9 care prin solidificare dă stratul de zgură solidă 10. Prin stabilirea corectă a parametrilor regimului electric de sudare, pierderile prin stropi de metal 11 sunt minime. Sursa de curent 12 poate debita curent continuu sau alternativ. În cazul utilizării curentului continuu este importantă polaritatea utilizată. Situația în care piesa este legată la anod, iar electrodul la catod se numește *polaritate directă*, iar situația contrară se numește *polaritate inversă*.

Fenomenul de trecere a metalului prin arc electric, întotdeauna în *sensul electrod - piesă*, poartă denumirea de *transfer de metal prin arc* și este reprezentat în Figura 11.3.

Arcul electric 1 topește metalul de bază 2, metalul de adaos (electrodul) 3 formându-se picăturile 4 transferate prin coloana arcului și învelișul electrodului 5. Se formează astfel o baie metalică lichidă 6 din a cărei solidificare rezultă sudura 7. O parte din învelișul electrodului arde formându-se învelișul de gaze



ELEMENTE TEORETICE

Definirea procedeului. Terminologie

Pentru realizarea cusăturii sudate, electrodului i se imprimă, manual, mai multe mișcări:

- mișcarea de deplasare în lungul cusăturii sudate cu viteza v_s ;
- mișcarea de avansare cu viteza v_a a electrodului, pe măsura consumării acestuia, în scopul menținerii constante a lungimii arcului electric;
- mișcarea de deplasare transversală (pendulare), v_p , în scopul asigurării lățimii cusăturii sudate și depunerii uniforme a metalului.

Calitatea îmbinării sudate depinde în mare măsură de structura metalului de bază și a metalului de adaos. Aceste materiale, în urma procesului de sudare, dau un tot unitar, rezistent, dacă au fost bine alese și s-au creat condițiile formării unui aliaj corespunzător.



ELEMENTE TEORETICE

Material de bază

Metalul de bază, pentru a da o îmbinare rezistentă trebuie să fie sudabil. În cazul oțelurilor carbon și slab aliate, cu cât conținutul de carbon este mai redus și oțelul a fost elaborat în condiții mai îngrijite, cu atât sudabilitatea este mai bună. Fontele au o sudabilitate redusă, sudarea realizându-se numai cu prescripții speciale și electrozi speciali. Neferoasele se sudează tot cu precauții.

În general se caută să se îmbine prin sudare materiale cu compoziție chimică identică sau asemănătoare, rezultând o sudură de compoziție identică sau foarte apropiată de cea a materialului de bază.

Materialul de bază este primul element care intervine în stabilirea tehnologiei de sudare. Informația primară provine din proiectul de execuție al produsului. Înaintea sudării materialele destinate construcției sudate sunt supuse curățirii, debitării și pregătirii rostului. Alegerea tipului de rost se face în funcție de grosimea materialului de bază și de forma construcției sudate. Indicații privind alegerea tipului de rost la sudarea manuală cu electrozi înveliți sunt date în *Tabelul 11.1*.



ELEMENTE TEORETICE

Material de bază

Tabelul 11.1. Formele și dimensiunile rosturilor pentru sudarea manuală cu arc electric și electrozi înveliți pentru oțeluri.

Tipul sudurii		Forma rostului	Forma îmbinării	Secțiunea metalului depus $A [mm^2]$	Parametrii geometrici				Cod structură sudată
					α, β [°]	s [mm]	b [mm]	c [mm]	
Sudură cap la cap	în I			$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h$	-	2	1,5	-	1I2
						3	2	-	1I3
						4	2	-	1I4
			$A = s \cdot b + \frac{4}{3} l \cdot h$	-	3	2	-	2I3	
					4	2	-	2I4	
					6	2,5	-	2I6	
	în V		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	60 ± 5	3	1,5	1,5	1V3	
					6	2	2	1V6	
					12	2,5	2,5	1V12	
					24	3	3	1V24	
					30	3	3	1V30	
	în X		$A = s \cdot b + \frac{4}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	60 ± 5	12	2	2	2X12	
					14	2	2	2X14	
					24	2	2	2X24	
					40	2,5	2	2X40	
					60	2,5	3	2X60	
în $\frac{1}{2}$ V		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	50 ± 5	6	2	2	$\frac{1}{2}$ V6		
				12	2	2	$\frac{1}{2}$ V12		
				24	2	2	$\frac{1}{2}$ V24		
				26	2	2	$\frac{1}{2}$ V26		
				30	2	2	$\frac{1}{2}$ V30		
Sudură de colț	în T sau L		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	50 ± 5	4	2	1	1TL4	
					6	2	1	1TL6	
					12	2	2	1TL12	
					24	2	2	1TL24	
					40	2	2	1TL40	



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Pentru realizarea unei îmbinări sudate de bună calitate, la un cost convenabil, este necesară o alegere atentă a materialului de adaos ținându-se seama de metalul de bază și de procedeul de sudare folosit, aceasta datorită faptului că sudura trebuie să aibă proprietăți identice sau apropiate cu cele ale metalului de bază.

De regulă, caracteristica principală luată în considerare este rezistența la tracțiune statică, alegându-se materiale de adaos care asigură sudurilor o rezistență mai mică, dar cu tenacitate mai mare pentru evitarea ruperii fragile a îmbinărilor.

Materialele de adaos se aleg ținând seama și de posibilitățile de sudare, condițiile atmosferice, de aplicarea sau nu a tratamentelor termice ulterioare etc.

Materialele de adaos utilizate se împart în două categorii:

- electrozi înveliți;
- fluxuri-sârme.



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

În cazul sudării manuale, materialul de adaos este constituit din electrozi, *Figura 11.4*, care sunt vergele metalice 1 de diametre ($\phi 2$; $\phi 2,5$; $\phi 3,25$; $\phi 4$; $\phi 5$ și $\phi 6$ mm) și lungimi (450 mm, iar cei de $\phi 2$ și $\phi 2,5$ se fabrică și cu lungimi de 300 sau 350 mm) standardizate, acoperiți cu un înveliș fuzibil 2, mineral sau organic, care îndeplinește următoarele funcții:

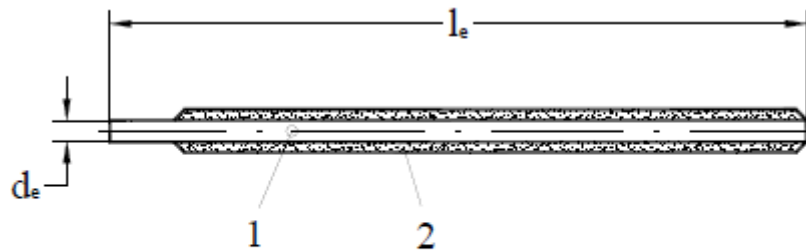


Figura 11.4. Electrode înveliț.

l_e – lungimea electrodului;
 d_e – diametrul electrodului.

- *funcția ionizatoare* – arderea stabilă a arcului electric. Se realizează prin introducerea unor substanțe care măresc stabilitatea funcționării arcului electric prin intensificarea procesului de ionizare a mediului dintre electrod și piesă. Aceste substanțe sunt pe bază de Ca, Na, K, Ba;

- *funcția moderatoare* – formarea unei cruste de zgură deasupra sudurii. Aceasta are rolul de a reduce viteza de răcire a cusăturii sudate, de a crește plasticitatea sudurii, de a împiedica acțiunea gazelor din atmosferă asupra sudurii. Principalii compuși care conferă aceste proprietăți sunt: silica, caolinul, mica, talcul, ilmenitul, marmura, magnezita;



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

- *funcția protectoare* – formarea unui mediu gazos protector pentru baia de metal topit. Această funcție este îndeplinită de arderea în arc electric a elementelor ca: celuloza, amidonul, rumegușul, dextrina, marmura, creta, dolomita;
- *funcția de aliere*. Se realizează prin introducerea unor elemente metalice (feroaliaje) care absorb oxigenul (dezoxidante) și produc îmbogățirea cordonului cu anumite elemente (Mn, Si, Fe etc.);
- *funcția de curățire*. Realizează reducerea conținutului de sulf și fosfor la anumite tipuri de învelișuri, prin introducerea unor elemente mai avide față de acestea decât de fier;
- *funcția de sprijinire*. Constă în întărirea rapidă a zgurii la executarea sudurilor pe plafon.



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Diversitatea mare de electrozi înveliți a necesitat o împărțire a acestora, în funcție de destinația lor principală, în 9 grupe:

- I electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor nealiate și slab aliate;
- II electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor slab aliate de înaltă rezistență și a oțelurilor utilizate la temperaturi scăzute;
- III electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor termorezistente;
- IV electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor inoxidabile și refractare;
- V electrozi înveliți pentru sudarea fontei;
- VI electrozi înveliți pentru sudarea aluminiului și a aliajelor sale;
- VII electrozi înveliți pentru sudarea cuprului și a aliajelor sale;
- VIII electrozi înveliți pentru încărcarea prin sudare;
- IX electrozi înveliți pentru sudări specializate (sub apă).



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Fiecare grupă cuprinde un anumit număr de mărci de electrozi, fiecare marcă fiind individualizată printr-o fișă tehnică în care se prezintă:

- simbolizarea sumară (denumirea comercială);
- simbolizarea completă (după standarde naționale și internaționale);
- caracterizare generală;
- caracteristicile mecanice, chimice, tehnologice;
- domeniile de utilizare;
- indicații privind regimul electric;
- modul de livrare.



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Simbolizarea completă a electrozilor înveliți, de exemplu pentru electrozii din grupa I (20 mărci), se face conform STAS 1125/2-81, precizându-se, în principal, următoarele elemente:

- ♦ *simbolul general*: **E**;
- ♦ *rezistența la rupere la tracțiune*, R_m , în daN/mm²;
- ♦ *clasa de calitate a oțelului*. Clasele de calitate se stabilesc pe criteriul garanțiilor de compoziție chimică și tenacitate. Astfel, produsele din clasele de calitate 1 și 2 se realizează, de obicei, din oțel necalmat în cazul mărcilor de oțel de rezistență joasă și din oțel calmat în cazul mărcilor de oțel de rezistență medie. Pentru produsele din clasele de calitate 3 și 4, în vederea creșterii gradului de finisare a structurii, se poate practica suplimentar adaosul de aluminiu și controlul temperaturii de sfârșit de laminare. Produsele din clasele 5, 6 și 7 se realizează din oțeluri cu granulație fină;
- ♦ *caracterul învelișului*, care se simbolizează conform Tabelului 11.2;



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Tabelul 11.2. Caracterul chimic al învelișului electrozilor.

Tipul învelișului		Conținut
Denumire	Simbol	
Acid	A	SiO ₂ , silicați, oxizi de fier și mangan.
Acid (cu grosime mare)	AR	
Bazic	B	Carbonați de calciu și fluorină.
Celulozic	C	Substanțe organice combustibile.
Oxidant	O	Oxizi de fier sau de mangan.
Rutilic	R	Silicați, carbonați și feromangan.
Rutilic (cu grosime mare)	RR	

- ♦ *randamentul efectiv* se specifică numai pentru electrozi de mare randament;
- ♦ *poziția de sudare* se simbolizează astfel:
 - 1 – toate pozițiile;
 - 2 – toate pozițiile exceptând poziția verticală descendent;
 - 3 – poziția orizontală, orizontală în jgheab și orizontală pe perete vertical;
 - 4 – orizontală și orizontală în jgheab;
 - 5 – orizontală, orizontală în jgheab, orizontală pe perete vertical, verticală descendent;
- ♦ *caracterul curentului de sudare* se simbolizează conform Tabelului 11.3:



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Tabelul 11.3. Caracterul curentului de sudare.

Simbol	Curent continuu Electrodul racordat la polul:	Curent alternativ Tensiunea nominală de mers în gol [V]:
0	+	neimpusă
1	+ sau –	50
2	–	50
3	+	50
4	+ sau –	70
5	–	70
6	+	70
7	+ sau –	90
8	–	90
9	+	90



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

♦ *caracteristicile tehnice speciale se simbolizează prin următoarele litere:*

H – electrozi cu conținut redus de hidrogen;

P – electrozi cu pătrundere adâncă;

Fe – electrozi care conțin pulbere de fier, minimum 15%.

Exemple de simbolizare, pentru câteva mărci de electrozi din grupa I se prezintă în *Tabelul 11.4*.

Tabelul 11.4. Exemple de simbolizare a electrozilor

Simbolizare sumară (denumire comercială)	Simbolizare completă (după standarde)	Utilizare	Tipul curentului
E 44T	E 43.2.R.2.2	OL 37.1; OL 37.2; OL 44.2 – STAS 500/2-80; OLT 35 – STAS 8183-80; OLC 10; OLC 15 – STAS 880-88.	cc + ca
SUPERTIT FIN	E 43.2.RR.2.2	OL 37.2; OL 37.3; OL 44.2 – STAS 500/2-80; OLT 35 – STAS 8183-80.	cc + ca
SUPERTIT	E 43.3.RR.2.2	OL 44.2; OL 44.3 – STAS 500/2-80; OLT 35; OLT 45 – STAS 8183-80.	cc + ca
UNIBAZ	E 51.3.B.2.3.H	OL 50; OL 52.2 – STAS 500/2-80; OT 400.1; OT 400.2; OT 400.3 – STAS 600-82; OT 450.1; OT 450.2; OT 450.3 – STAS 600-82.	cc
SUPERBAZ	E 51.5.B.120.2.0.H	OL 44.4; OL 52.2; OL 52.4 – STAS 500/2-80; OT 450.1; OT 450.2; OT 450.3 – STAS 600-82.	cc



ELEMENTE TEORETICE

Material de adaos. Electrozi înveliți pentru sudarea oțelurilor

Diametrul electrodului, d_e , se alege în funcție de grosimea, în mm, a pieselor de sudat s utilizând relația

$$d_e = 1,5 \cdot \sqrt{s} \quad [mm] \quad (11.1)$$

și respectând condiția

$$d_e \leq s, \quad (11.2)$$

ceea ce implică limitarea inferioară a grosimii pieselor la sudarea cu electrozi înveliți.

Valoarea obținută din calcul pentru d_e cu ajutorul relației (11.1), în condiția (11.2), se aproximează la valoarea cea mai apropiată dintre valorile standardizate pentru diametrul sârmei electrodului din șirul: 2; 2,5; 3,25; 4; 5; 6 mm. Se obține astfel $d_{e_{STAS}}$ cu care se realizează sudarea.

Pentru table groase ($s > 10 \text{ mm}$), sudarea se execută în mai multe treceri. Primul strat se sudează cu electrozi cu diametrul imediat inferior lui $d_{e_{STAS}}$ calculat (din șirul de diametre standardizate), iar următoarele straturi se sudează cu electrozi cu $d_{e_{STAS}}$ determinat.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

Sudarea cu arc electric se execută folosind surse de curent continuu sau alternativ. Sursele de curent continuu sunt generatoarele rotative sau redresoarele, iar cele de curent alternativ, transformatoarele. Generatoarele de sudare sunt antrenate de motoare electrice (grupuri convertizoare) sau de motoare cu ardere internă (grupuri electrogene).

Convertizorul de sudare CS-350. Constructiv, este format dintr-un motor electric asincron trifazat care acționează un generator de curent continuu cu rotorul (indusul) în scurtcircuit, montat pe același ax cu rotorul motorului, deci de tipul cu excitație separată și serie antagonistă, având 4 poli principali și 4 poli auxiliari cu poziție alternantă. Schema electrică a generatorului se prezintă în *Figura 11.5(a)*, iar panoul de comandă a convertizorului în *Figura 11.5(b)*.

ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

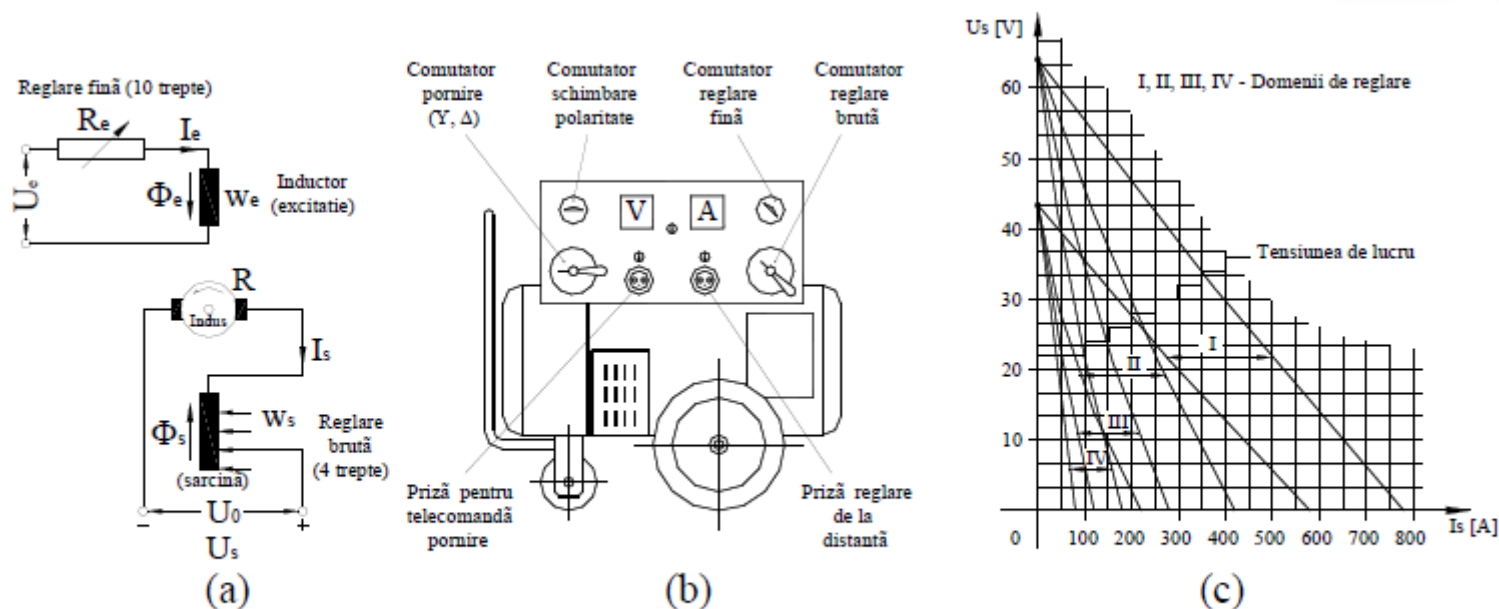


Figura 11.5. Convertizorul de sudare CS-350.

(a) – schema electrică; (b) – panoul de comandă; (c) – caracteristicile externe.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

Polii principali ai generatorului au două tipuri de înfășurări:

- înfășurarea de excitație separată (de magnetizare), având un număr mare de spire w_e , parcursă de curentul continuu I_e . Acesta se culege de la rețea printr-un redresor și este reglabil printr-un reostat R_e . El exercită un flux magnetic Φ_e ;
- înfășurarea de excitație în serie cu indusul (de demagnetizare), având un număr mare de spire w_s , străbătute de curentul de sudare I_s . Numărul de spire a acestei înfășurări este reglabil în 4 trepte și creează un flux magnetic variabil Φ_s (de demagnetizare), antagonist cu Φ_e .

În sarcină, fluxurile Φ_e și Φ_s se scad, realizându-se o gamă largă de valori ale curenților de sudare, în fiecare din cele 4 trepte de reglare.

Treptele de reglare ale convertizorului CS-350 sunt prezentate în *Figura 11.5(c)* care reprezintă caracteristicile externe ale sursei. În figură se prezintă câte două curbe limită pentru fiecare domeniu: una pentru excitația separată maximă și una pentru excitația minimă.

Principalele caracteristici tehnice ale convertizorului CS-350 sunt prezentate în *Tabelul 11.5*.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

Tabelul 11.5. Caracteristici tehnice ale convertizorului CS-350.

Nr. crt.	Caracteristici tehnice	Valori
1.	Domeniul de reglare al regimului de sudare	50 A / 22 V – 370 A / 34 V
2.	Numărul treptelor de reglare brută	4
3.	Numărul treptelor de reglare fină	10
4.	Tensiunea de mers în gol	65 V
5.	Puterea motorului de acționare	14 kW
6.	Tensiunea de alimentare	paralel: 220 V / 380 V serie: 440 V / 500 V
7.	Frecvența curentului de alimentare	50 Hz
8.	Turația	1450 rot/min
9.	Randamentul total	55 %
10.	Dimensiuni de gabarit	870 × 536 × 887 mm
11.	Masa totală	420 kg



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

Pregătirea convertizorului CS-350 pentru sudare se face parcurgând etapele:

- se verifică existența legării la pământ a utilajului;
- se verifică izolația cablurilor de legătură și contactelor;
- se verifică dacă comutatorul stea-triunghi este pe poziția zero (0);
- se conectează întrerupătorul automat de protecție;
- se pornește convertizorul acționând comutatorul stea-triunghi în poziția stea (Y), se așteaptă până ce turația devine constantă, apoi se comută pe poziția triunghi (Δ);
- se stabilește polaritatea circuitului de sudare;
- se stabilește domeniul de reglaj și valoarea curentului de sudare prin intermediul comutatoarelor de reglare brută, respectiv fină. *Manevrarea acestor comutatoare în timpul sudării sau în cazul apariției unui scurtcircuit este interzisă.*

Oprirea convertizorului se realizează prin fixarea comutatorului stea-triunghi în poziția zero (0) și apoi scoaterea convertizorului de sub tensiune.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

11.1.4.2. Transformatorul cu șunt magnetic. Din punct de vedere constructiv face parte din grupa transformatoarelor cu reactanță și dispersie mărită, reactanță care poate fi obținută fie printr-o dispunere particulară a înfășurărilor, fie prin intermediul unor șunturi magnetice care micșorează cuplajul magnetic între înfășurarea primară și secundară.

Liniile câmpului magnetic de dispersie se închid total sau parțial în aer, astfel încât practic întreaga reluctanță magnetică corespunzătoare acestor circuite magnetice se datorează porțiunilor stabilite în aer. Plasarea unor elemente constructive realizate din material feromagnetic pe circuitul fluxului de dispersie produc mărirea acestor fluxuri, ceea ce are ca rezultat mărirea reactanței din scurtcircuit a transformatorului.

La transformatorul cu șunt magnetic, a cărui schemă de principiu este prezentată în *Figura 11.6(a)*, bobinele primare și bobinele secundare sunt dispuse pe ambele coloane ale miezului magnetic și sunt separate prin șuntul magnetic.

La mersul în gol, câmpul magnetic va trece numai prin coloanele continue principale de fier, deoarece întrefierul i îl împiedică să treacă prin șuntul magnetic.

ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

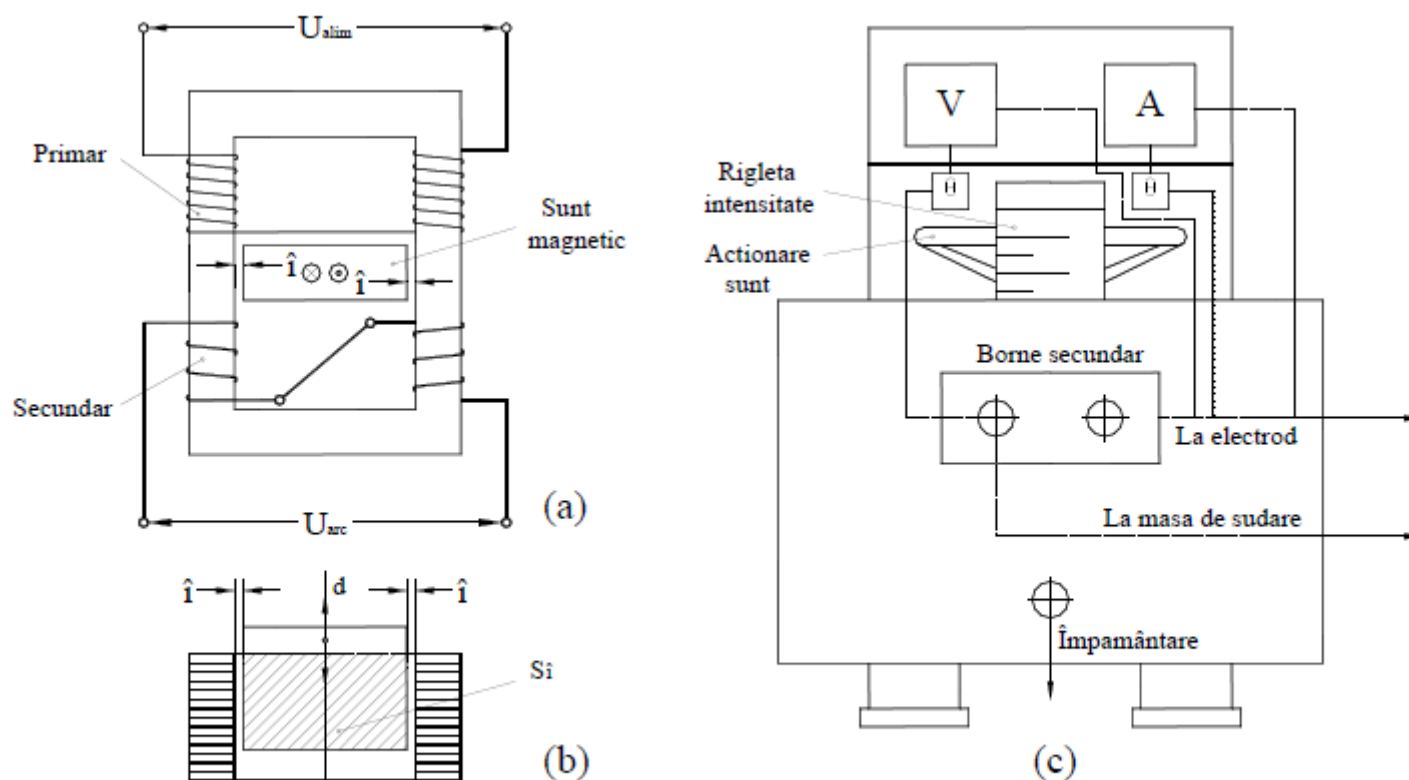


Figura 11.6. Transformatorul cu șunt magnetic.

(a) – schema electrică; (b) – schema reglării curentului; (c) – vedere generală.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

La scurtcircuitarea secundarului, curentul electric din acesta fiind în opoziție cu cel din primar, câmpul magnetic produs de înfășurarea primară este în opoziție cu câmpul magnetic produs de înfășurarea secundară. Cele două câmpuri magnetice determină fluxul magnetic principal să treacă prin șuntul magnetic sub formă de câmp magnetic comun, rămânând numai o mică parte necesară pentru a produce tensiunea redusă din secundar care acoperă pierderile de tensiune pe rezistența înfășurării.

Reglarea curentului se face prin modificarea secțiunii de trecere S_f a fluxului către șuntul magnetic, *Figura 11.6(b)*. Prin deplasarea șuntului pe direcția d cu ajutorul unui mecanism șurub-piuliță, se obține modificarea secțiunii de trecere S_f .

Vederea de ansamblu a transformatorului cu șunt magnetic este prezentată în *Figura 11.6(c)*.



ELEMENTE TEORETICE

Surse de curent pentru sudare

Pregătirea transformatorului cu șunt magnetic pentru sudare se face parcurgând etapele:

- se verifică existența legării la pământ a utilajului;
- se verifică izolația cablurilor de legătură și contactelor;
- reglarea curentului de sudare utilizând maneta de acționare a șuntului magnetic și rigleta de citire a intensității;
- se conectează întrerupătorul automat de protecție;

Oprirea transformatorului se realizează prin scoaterea acestuia de sub tensiune.



ELEMENTE TEORETICE

Echipamentul de lucru și de protecție

În afară de sursele de curent electric necesare pentru sudare, la postul de sudare mai sunt necesare o serie de accesorii, care fac posibilă desfășurarea în bune condiții a operației de sudare atât din punct de vedere tehnic cât și din punct de vedere al protecției sudorului în timpul lucrului. Acestea sunt:

- *cablurile pentru sudare* asigură realizarea circuitelor de sudare, adică legătura unui pol al sursei cu piesa de sudat și a celuilalt pol cu cleștele port electrod. Sunt executate din cupru sau aluminiu, de construcție multifilară și izolate cu un înveliș din cauciuc;
- *cleștele portelectrod* servește la prinderea electrodului și conducerea lui în timpul sudării. El trebuie să asigure un contact bun cu electrodul și în același timp protecție la manevrare printr-un mâner bine izolat;
- *clema de contact* servește la stabilirea legăturii electrice între cablul legat la un pol al sursei și piesa de sudat (masă);
- *ciocanul de sudor* necesar pentru curățirea zgurii având un cap în formă de piramidă sau de con și celălalt sub formă de daltă;
- *peria de sârmă* de oțel, necesară pentru curățirea zgurii și a ruginii de pe suprafețele pieselor de sudat;
- *echipamentul de protecție*, compus din:
 - mască de mână cu ecran filtrant pentru protecția ochilor, feței și capului împotriva radiațiilor;
 - mănuși cu sau fără manșete;
 - șorț din piele;
 - ghetă sau jambiere din piele.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea parametrilor regimului electric de sudare

La sudarea manuală cu electrozi înveliți, principalii parametri ai regimului electric de sudare sunt:

- curentul de sudare, I_s [A];
- tensiunea arcului, U_a [V];
- tipul curentului și polaritatea.

Curentul de sudare se stabilește în funcție de secțiunea electrodului și de densitatea maximă de curent ce îl poate străbate. Sudarea cu valori mici ale curentului conduce la instabilitatea arderii arcului și la întreruperi repetate ale acestuia. Sudarea cu valori peste cele prescrise duce la supraîncălzirea sârmei electrodului datorită efectului Joule și la deteriorarea învelișului, cu consecința imediată a apariției defectelor în sudură.

Densitatea de curent j se stabilește în funcție de natura învelișului electrodului, *Tabelul 11.6. Se utilizează densități de curent mari pentru sudarea în poziție orizontală, medii pentru verticală și mici pentru poziția pe plafon.*

Tabelul 11.6. Valori recomandate pentru densitatea de curent, j [A/mm^2].

Caracterul învelișului	Diametrul electrodului, d_e [mm]					
	2	2,5	3,25	4	5	6
Acid, rutilic	15,9÷22,3	16,3÷20,4	14,5÷16,9	12,7÷14,3	9,7÷11,7	8,5÷9,9
Bazic	-	13,3÷18,3	13,2÷16,9	12,7÷15,1	10,7÷11,7	-



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea parametrilor regimului electric de sudare

Curentul de sudare se determină cu relația

$$I_s = \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot j \quad [A] \quad (11.3)$$

Pentru determinarea curentului de sudare se mai folosesc o serie de relații empirice, cum ar fi:

$$I_s = (20 + 5 \cdot d_e) d_e \quad [A] \quad (11.4)$$

sau

$$I_s = k \cdot d_e \quad [A] \quad (11.5)$$

în care d_e se ia în mm, iar $k = 35 \div 45$.

O variantă comodă de alegere a intensității de sudare este aceea a folosirii fișei tehnice a mărcii electrodului sau chiar indicațiile de pe cutia de electrozi.

Tensiunea arcului se stabilește în limitele 20÷30 V, în principal, în funcție de mărimea curentului de sudare, de diametrul electrodului, de natura și grosimea învelișului.

Se are în vedere faptul că lungimea recomandată a arcului electric este aproximativ egală cu diametrul electrodului.



ELEMENTE TEORETICE

Stabilirea parametrilor regimului electric de sudare

Tensiunea crește practic liniar cu lungimea arcului, conform relației:

$$U_a = 10 \div 12 + (2 \div 5) \cdot d_e \text{ [V]} \quad (11.6)$$

Creșterea tensiunii implică pierderi mari de căldură în arc, pierderi de metal prin stropi și lățirea ușoară a cusăturii, dar și scăderea pătrunderii și creșterea supraînălțării cusăturii, cu efecte negative în comportarea sudurii în exploatare.

Tipul curentului și polaritatea se stabilesc în funcție de natura metalului de bază, tipul electrodului folosit precum și în funcție de operația de sudare.

La alegerea polarității se ține seama de faptul că polul pozitiv se încălzește mai tare decât cel negativ și ca urmare polaritatea directă se utilizează la sudarea materialelor groase, iar polaritatea inversă la sudarea materialelor mai subțiri.

Corelarea corectă a intensității curentului cu diametrul și tipului electrodului, cu poziția de sudare și cu polaritatea are implicații în eficacitatea transferului de metal de la electrod la piesă, deci în ceea ce privește randamentul sudării și energia consumată.

Tipul curentului și polaritatea se aleg din fișa tehnică a mărcii de electrod.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea parametrilor tehnologici

Principalii parametri tehnologici urmăriți la sudarea prin topire cu arc electric cu electrozi înveliți se împart în două categorii, fiecare cu câte o serie de parametri:

- ◆ parametrii regimului termic:
 - coeficientul de topire;
 - pierderile;
 - coeficientul de depunere;
 - randamentul efectiv;
 - viteza de sudare;
 - energia liniară;
- ◆ parametrii geometrici:
 - coeficientul de pătrundere;
 - coeficientul de supraînălțare;
 - coeficientul de formă.

Coeficientul de topire, α_t se definește cu relația:

$$\alpha_t = \frac{M_t}{I_s \cdot t} \cdot \left[\frac{g}{A \cdot h} \right] \quad (11.7)$$

în care: M_t este masa metalului topit din electrod, în g;

I_s – intensitatea de sudare, în A;

t – timpul afectat sudării (menținerii arcului), în h.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea parametrilor tehnologici

Masa metalului topit se determină cu relația

$$M_t = m_{sp}(l_e - l_r) \quad [g] \quad (11.8)$$

în care: m_{sp} este masa specifică a sârmei electrodului, în g/mm;
 l_e – lungimea inițială a electrodului utilizat, în mm;
 l_r – lungimea rămasă din electrod după sudare, în mm.

Masa specifică a sârmei electrodului este

$$m_{sp} = \frac{m_s}{l_e} \left[\frac{g}{mm} \right] \quad (11.9)$$

în care m_s reprezintă masa sârmei electrodului, în g.

Pierderile, ψ se definesc cu relația

$$\psi = \frac{M_p + M_t - M_{ps}}{M_t} \quad [-] \text{ sau } \psi_{\%} = \psi \cdot 100 \quad [\%] \quad (11.10)$$

în care: M_p este masa pieselor de sudat, în g;
 M_{ps} – masa pieselor după sudare, în g.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea parametrilor tehnologici

Coeficientul de depunere, α_d depinde de coeficientul de topire și de pierderi, definindu-se prin relația

$$\alpha_d = (1 - \psi) \cdot \alpha_t \left[\frac{g}{A \cdot h} \right] \text{ sau } \alpha_d = \frac{M_d}{I_s \cdot t} \left[\frac{g}{A \cdot h} \right] \quad (11.11)$$

în care $M_d = M_{ps} - M_p$ și reprezintă masa metalului depus la sudare.

Randamentul efectiv, η_E se definește cu relația

$$\eta_E = \frac{M_d}{M_t} [-] \text{ sau } \eta_{E\%} = \eta_E \cdot 100 [\%] \quad (11.12)$$

Viteza de sudare, v_s pentru depunerea unui strat de sudură se determină utilizând relația de definire a coeficientului de depunere. Astfel, considerând

$$M_d = \rho \cdot A \cdot L [g], \quad (11.13)$$

în care: ρ este densitatea metalului depus, în g/mm^3 (la oțel $\rho = 7,8 \cdot 10^{-3} g/mm^3$);

A – secțiunea transversală a stratului, în mm^2 ;

L – lungimea cusăturii sudate, în mm,

se poate scrie

$$\alpha_d = \frac{\rho \cdot A \cdot L}{I_s \cdot t} = \frac{\rho \cdot A}{I_s} \cdot v_s$$

de unde,

$$v_s = \frac{\alpha_d \cdot I_s}{\rho \cdot A} \left[\frac{mm}{h} \right] \text{ sau } v_s = 10^{-3} \frac{\alpha_d \cdot I_s}{\rho \cdot A} \left[\frac{m}{h} \right] \quad (11.14)$$



ELEMENTE TEORETICE

Definirea parametrilor tehnologici

Energia liniară, E_l se determină cu relația (11.15)

$$E_l = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\eta_t U_a I_s}{v_s} \left[\frac{j}{m} \right] \text{ sau } E_l \left[\frac{kJ}{cm} \right] = 10^{-5} E_l \left[\frac{j}{m} \right] \text{ sau } E_l \left[\frac{kWh}{m} \right] = \frac{l}{3,6 \cdot 10^6} E_l \left[\frac{j}{m} \right]$$

în care η_t reprezintă randamentul de utilizare a căldurii dezvoltate de arcul electric, $\eta_t = 0,7 \div 0,9$, iar v_s se introduce în m/h.

Energia liniară este influențată de regimul de sudare și determină apariția tensiunilor interne și deformările la sudare.

Coeficientul de pătrundere, ψ_p se definește cu relația

$$\psi_p = \frac{l}{p} [-] \quad (11.16)$$

în care l și p au semnificațiile din *Figura 11.1*.

Adâncimea de pătrundere, p , a cordonului de sudură se determină cu relația

$$p = (3 \div 5) \cdot r \text{ [mm]} \quad (11.17)$$

unde r se determină cu relația experimentală

$$r = 0,22 \sqrt{E_l} \text{ [mm]} \quad (11.18)$$

și reprezintă raza vectoare a unui punct aflat pe suprafață la temperatura $T = T_{max}$. E_l se introduce în kJ/cm.



ELEMENTE TEORETICE

Definirea parametrilor tehnologici

Coeficientul de supraînălțare, ψ_h se definește cu relația

$$\psi_h = \frac{l}{h} \quad [-] \quad (11.19)$$

în care h are semnificația din *Figura 11.1*.

Coeficientul de formă, ψ_H se definește cu relația

$$\psi_H = \frac{l}{H} \quad [-] \quad (11.20)$$

în care H este înălțimea sudurii.

Parametrii geometrici se determină pentru estimarea caracteristicilor cusăturii sudate.



EXPERIMENT

Încercările experimentale se execută utilizând cele două posturi de sudare prezentate – în curent continuu și alternativ, pentru ca în final să se facă o comparație între cele două procedee, privind aspectul cusăturii sudate și parametrii tehnologici determinați.



EXPERIMENT

Condiții experimentale

În vederea efectuării lucrării practice sunt necesare:

- convertizor de sudare CS-350;
- transformator cu șunt magnetic;
- echipament de lucru format din:
 - masă de sudare;
 - cabluri de legătură;
 - clește portelectrod
 - clemă de contact;
 - ciocan de sudor;
 - perie de sârmă;
- echipament de protecție:
 - mască de mână;
 - mănuși;
 - șorț din piele;
 - ghete sau jambiere din piele.
- epruvete din oțelul OL 37.3 cu dimensiunile de gabarit $100 \times 50 \times 5 \text{ mm}$;
- electrozi E 44.3.RR.2.2 (SUPERTIT);
- balanță tehnică de precizie 0,1 g;
- cronometru; șubler;
- riglă gradată sau ruletă.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

Partea practică a lucrării se desfășoară prin parcurgerea etapelor, operațiilor și fazelor care fundamentează din punct de vedere aplicativ, partea teoretică cuprinsă în prezentarea procedeului de sudare prin topire cu arc electric, cu electrozi înveliți.

- ◆ Primirea temei și studiul acesteia.
- ◆ Preluarea datelor inițiale pe baza desenului de execuție a structurii sudate:
 - metalul de bază – simbolul și grosimea;
 - tipul și denumirea sudurii;
 - forma și dimensiunile rostului;
 - forma îmbinării;
 - poziția de sudare.
- ◆ Alegerea metalului de adaos (electrodului) – se stabilesc:
 - simbolizarea sumară și completă;
 - diametrul electrodului, d_e ;
 - lungimea electrodului, $l_{e_{STAS}}$;
 - masa sârmei electrodului, $m_{s_{STAS}}$;
 - masa specifică a sârmei electrodului, m_{sp} .
- ◆ Stabilirea parametrilor regimului electric de lucru:
 - curentul de sudare, I_s ;
 - tensiunea arcului, U_a ;
 - tipul curentului și polaritatea.



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

◆ Parametri preliminari executării sudării:

- masa piesei, M_p ;
- lungimea inițială a electrodului utilizat, l_e .

◆ Executarea sudurii:

- prinderea pieselor de sudat în dispozitiv;
- prinderea electrodului în cleștele portelectrod;
- pregătirea cronometrului pentru măsurarea timpului efectiv de sudare (de ardere a arcului electric);
- pregătirea utilajului pentru sudare;
- sudarea propriu-zisă:
 - *amorsarea arcului* se face prin tamponarea (atingerea ușoară) sau frecarea de piesă și îndepărtarea scurtă a electrodului. Amorsarea prin lovire nu se recomandă deoarece o parte din învelișul capătului electrodului cade și rămânând fără protecție, poate provoca pori la începutul cusăturii. După amorsare, electrodul se înclină cu $20 \div 30^\circ$ față de verticală pe direcția și în sensul sudării;
 - *menținerea arcului* se realizează prin mișcările electrodului, *Figura 11.2*, de *apropiere* de piesă (pentru menținerea constantă a lungimii arcului, $l_a \approx d_e$) și de *întindere* a electrodului pe linia de sudare, la piesele groase aceasta fiind însoțită de *oscilații transversale* față de linia de sudare;



EXPERIMENT

Traseul tehnologic

- *întreruperea arcului* se face printr-o mișcare de alunecare (mișcare care asigură închiderea craterului), în nici un caz prin întreruperea bruscă cu ridicarea electrodului. În cazul lipirii electrodului de piesă (înghețării) nu trebuie folosită smulgerea din lipitură ci se va proceda la înclinarea electrodului în lateral. În cazul când nu se dezlipește, se desprinde electrodul din cleștele portelectrod;

- așezarea cleștelui portelectrod pe suport;
- oprirea utilajului;
- curățirea de zgură a cusăturii sudate.

♦ Preluarea datelor experimentale:

- timpul de sudare, t ;
- lungimea rămasă a electrodului, l_r ;
- masa piesei sudate, M_{ps} ;
- lățimea cusăturii sudate, l ;
- supraînălțarea, h ;
- secțiunea metalului depus, A .



EXPERIMENT

Rezultate experimentale

Datele preluate din temă, cele determinate ulterior pe baza acestora, cele măsurate precum și datele experimentale obținute în urma sudării se centralizează în *Tabelul 11.7.*

Tabelul 11.7. Date inițiale, măsurate, calculate și experimentale.

Metalul de bază		Tipul și denumire a sudurii	Rostul			Forma îmbinării	
Simbol	s [mm]		Formă	Dimensiuni			
				α, β [°]	b [mm]		c [mm]

Tabelul 11.7. (continuare)

Poziția de sudare	Electrod					I_s [A]	U_a [V]
	Simbol	d_e [mm]	$l_{e_{STAS}}$ [mm]	$m_{s_{STAS}}$ [g]	m_{sp} [g/mm]		

Tabelul 11.7. (continuare)

Tipul curentului	Polaritatea	M_p [g]	l_e [mm]	t		l_r [mm]	M_{ps} [g]	Cusătura sudată		
				[s]	[h]			l [mm]	h [mm]	A [mm ²]
continuu										
alternativ	-									



EXPERIMENT

Prelucrarea rezultatelor experimentale

Pe baza rezultatelor experimentale se determină parametrii tehnologici utilizând relațiile de calcul prezentate în partea teoretică a lucrării. Parametrii tehnologici calculați se centralizează în *Tabelul 11.8*.

Tabelul 11.8. Parametri tehnologici.

Tipul curentului	α_t	ψ		α_d	η_E		v_s	E_l		ψ_p	ψ_h	ψ_H
	$\left[\frac{g}{A \cdot h} \right]$	[-]	[%]	$\left[\frac{g}{A \cdot h} \right]$	[-]	[%]	$\left[\frac{m}{h} \right]$	$\left[\frac{j}{m} \right]$	$\left[\frac{kWh}{m} \right]$	[-]	[-]	[-]
continuu												
alternativ												



EXPERIMENT

Interpretarea rezultatelor experimentale

În urma executării sudurii prin cele două variante – în curent continuu și alternativ – se vor compara:

- comportarea la sudare a electrozilor;
- aspectul cusăturii sudate;
- parametrii tehnologici,

alegându-se varianta optimă a procedeului, în cazul dat.



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, studenții vor participa direct la experiment și preluarea datelor experimentale utilizând instalațiile și traseul experimental studiate. În continuare, fiecare student va primi o temă individuală (*Tabelul 11.9*) privind tehnologia sudării prin topire cu arc electric cu electrozi înveliți.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării. Un exemplu este prezentat în **Anexa 11**.

Tabelul 11.9. Aplicații privind tehnologia sudării prin topire cu arc electric cu electrozi înveliți.

Cod aplicație	Metal de bază STAS 500/2-80	Cod structură (Tabelul 11.1)	Poziția de sudare	Tipul curentului	M_p [g]	I_a [mm]	t [s]	I_r [mm]	M_{pe} [g]	l [mm]	h [mm]
TSA-1	OL 37.1	1 I 4	Orizontală	cc	312.3	448	33.6	230	324.1	7.5	1.5
				ca	310.1	230	30.3	51	319.5	7.8	1.6
TSA-2	OL 37.1	1 V 6	Orizontală	cc	430.0	448	39.4	240	447.7	11.1	1.1
				ca	431.4	240	38.5	55	446.8	11.5	1.4
TSA-3	OL 37.1	½ V 6	Orizontală	cc	452.7	449	31.8	281	467.0	11.0	1.0
				ca	453.1	281	45.8	61	471.4	12.0	1.3
TSA-4	OL 37.3	1 I 4	Orizontală	cc	311.9	449	30.8	262	322.7	7.4	1.4
				ca	309.1	262	37.9	53	320.9	7.8	1.7
TSA-5	OL 37.3	1 V 6	Orizontală	cc	432.2	450	42.3	241	451.2	11.2	0.9
				ca	434.4	241	42.6	50	451.4	11.7	1.2
TSA-6	OL 37.3	½ V 6	Orizontală	cc	448.6	450	43.1	237	468.0	10.9	0.9
				ca	451.8	237	42.1	48	468.7	11.8	1.3
TSA-7	OL 44.3	1 I 4	Orizontală	cc	312.5	451	33.4	248	324.2	7.5	1.5
				ca	311.1	248	34.6	57	321.9	7.7	1.7
TSA-8	OL 44.3	1 V 6	Orizontală	cc	453.6	451	40.1	253	471.6	11.0	1.0
				ca	437.9	253	44.8	52	455.8	11.8	1.3
TSA-9	OL 44.3	½ V 6	Orizontală	cc	439.1	452	43.5	237	458.7	11.2	1.1
				ca	443.0	237	41.0	53	459.4	11.7	1.5
TSA-10	OL 37.1	1 I 4	Verticală	cc	311.4	452	40.9	211	324.4	7.3	1.4
				ca	309.7	211	29.7	50	318.2	7.8	1.7
TSA-11	OL 37.1	1 V 6	Verticală	cc	430.1	453	39.0	263	446.3	11.1	1.1
				ca	432.2	263	47.8	49	450.0	11.8	1.4
TSA-12	OL 37.1	½ V 6	Verticală	cc	446.4	453	43.5	241	464.5	10.8	1.0
				ca	441.0	241	40.2	61	456.0	11.5	1.4
TSA-13	OL 37.3	1 I 4	Verticală	cc	315.7	454	37.0	250	327.5	7.5	1.5
				ca	312.1	250	38.0	58	322.9	7.8	1.5
TSA-14	OL 37.3	1 V 6	Verticală	cc	434.3	454	46.1	244	453.4	10.9	1.1
				ca	436.4	244	45.9	52	453.5	11.9	1.2
TSA-15	OL 37.3	½ V 6	Verticală	cc	440.2	455	41.2	267	457.3	11.0	1.2
				ca	444.2	267	49.5	60	462.7	11.4	1.4
TSA-16	OL 44.3	1 I 4	Verticală	cc	313.9	455	39.4	238	326.4	7.5	1.6
				ca	312.8	238	35.8	57	323.0	7.9	1.9
TSA-17	OL 44.3	1 V 6	Verticală	cc	430.1	456	46.3	245	449.3	11.1	1.3
				ca	427.8	245	46.1	52	445.0	11.9	1.3
TSA-18	OL 44.3	½ V 6	Verticală	cc	447.5	456	43.9	256	465.7	11.2	1.1
				ca	442.4	256	48.0	55	460.3	12.0	1.5
TSA-19	OL 37.1	1 I 4	Pe plafon	cc	318.6	457	36.5	261	329.2	7.4	1.4
				ca	315.8	261	42.6	51	326.9	8.0	1.8
TSA-20	OL 37.1	1 V 6	Pe plafon	cc	431.9	457	46.1	248	449.7	10.8	1.3
				ca	437.1	248	46.9	53	453.3	11.8	1.3
TSA-21	OL 37.1	½ V 6	Pe plafon	cc	451.4	458	43.9	259	468.4	10.9	1.0
				ca	443.2	259	48.8	56	460.1	11.5	1.3



APLICAȚII

Cod aplicație	Metal de bază STAS 500/2-80	Cod structură (Tabelul 11.1)	Poziția de sudare	Tipul curentului	M_p [g]	l_e [mm]	t [s]	l_r [mm]	M_{ps} [g]	l [mm]	h [mm]
TSA-22	OL 37.3	1 I 4	Pe plafon	cc	320,7	458	42,2	246	332,9	7,5	1,5
				ca	315,5	246	41,4	55	326,3	7,9	1,9
TSA-23	OL 37.3	1 V 6	Pe plafon	cc	432,4	459	51,9	239	452,5	11,4	1,0
				ca	432,1	239	48,4	51	448,9	12,1	1,2
TSA-24	OL 37.3	½ V 6	Pe plafon	cc	451,2	459	46,2	263	469,1	11,0	1,3
				ca	448,8	263	52,7	58	467,1	11,6	1,5
TSA-25	OL 44.3	1 I 4	Pe plafon	cc	310,9	460	42,0	249	323,1	7,5	1,6
				ca	318,5	249	41,0	60	329,2	7,7	2,0
TSA-26	OL 44.3	1 V 6	Pe plafon	cc	437,1	460	51,6	241	457,1	11,0	1,1
				ca	435,4	241	48,6	52	452,3	12,0	1,4



Anexa 11

Să se determine parametrii tehnologici pentru executarea unei structuri sudate, utilizând sudarea prin topire cu arc electric cu electrozi înveliți. Cod aplicație: TSA-1.

Date experimentale inițiale

Cod aplicație	Metal de bază STAS 500/2-80	Cod structură (Tabelul 11.1)	Poziția de sudare	Tipul curentului	M_p [g]	l_e [mm]	t [s]	l_r [mm]	M_{ps} [g]	l [mm]	h [mm]
TSA-1	OL 37.1	1 I 4	Orizontală	cc	312,3	448	33,6	230	324,1	7,5	1,5
				ca	310,1	230	30,3	51	319,5	7,8	1,6

Pe baza acestor date se determină:

- *electrodul de sudare* (Tabelul 11.4): E 44T, E 43.2.R.2.2;
- *diametrul electrodului* (relațiile 11.1 și 11.2):

$$d_e = 1,5 \cdot \sqrt{s} = 1,5 \cdot \sqrt{4} = 3 \text{ mm}$$

Se alege $d_{e_{STAS}} = 3,25 \text{ mm}$;

- *lungimea electrodului* (corespunzătoare lui $d_{e_{STAS}}$):

$$l_{e_{STAS}} = 450 \text{ mm} ;$$

- *masa sârmei electrodului ales* (prin calcul sau cântărire):

$$m_{s_{STAS}} = 28 \text{ g} ;$$

- *masa specifică a sârmei electrodului* – relația (11.9):

$$m_{sp} = \frac{m_s}{l_e} = \frac{28}{450} = 0,062 \frac{\text{g}}{\text{mm}} ;$$

- *curentul de sudare*. Se utilizează relația (11.3), iar densitatea de curent se alege din Tabelul 11.6, corespunzătoare lui d_e , caracterului învelișului și poziției de sudare. Astfel:

$$I_s = \frac{\pi d_e^2}{4} \cdot j = \frac{\pi \cdot 3,25^2}{4} \cdot 16,9 = 140 \text{ A} ;$$



Anexa 11

- *tensiunea arcului*. Se determină cu relația (11.6) la valoarea medie:

$$U_a = 11 + 3,5 \cdot d_e = 11 + 3,5 \cdot 3,25 = 22 \text{ V} ;$$

- *polaritatea* – directă;
- *timpul de sudare* se transformă din secunde în ore:

- pentru curent continuu (cc): $t[h] = \frac{1}{3600} \cdot t[s] = \frac{1}{3600} \cdot 33,6 = 0,00936 \text{ h} ;$

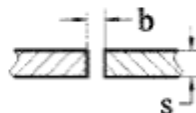
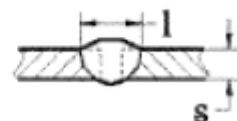
- pentru curent alternativ (ca): $t[h] = \frac{1}{3600} \cdot 30,3 = 0,00839 \text{ h} ;$

- *secțiunea metalului depus* se determină cu relația corespunzătoare tipului și denumirii sudurii din Tabelul 11.1, astfel:

- în cc: $A = s \cdot b + \frac{2}{3} \cdot l \cdot h = 4 \cdot 2 + \frac{2}{3} \cdot 7,5 \cdot 1,5 = 15,50 \text{ mm} ;$

- în ca: $A = 4 \cdot 2 + \frac{2}{3} \cdot 7,8 \cdot 1,6 = 16,32 \text{ mm} .$

Rezultatele experimentale preluate din temă precum și cele determinate pe baza acestora se centralizează în tabelul următor:

Metalul de bază		Tipul și denumirea sudurii	Rostul			Forma îmbinării	
Simbol	s [mm]		Formă	Dimensiuni			
				α, β [°]	b [mm]		c [mm]
OL 37.1	4	Sudură cap la cap, în I		-	2	-	



Anexa 11

(continuare)

Poziția de sudare	Electrod					I_s [A]	U_a [V]
	Simbol	d_e [mm]	$l_{e_{STAS}}$ [mm]	$m_{s_{STAS}}$ [g]	m_{sp} [g/mm]		
Orizontală	E 44T, E 43.2.R.2.2	3,25	450	28	0,062	140	22

(continuare)

Tipul curentului	Polaritatea	M_p [g]	l_e [mm]	t		l_r [mm]	M_{ps} [g]	Cusătura sudată		
				[s]	[h]			l [mm]	h [mm]	A [mm ²]
continuu	directă	312,3	448	33,6	0,00936	230	324,1	7,5	1,5	15,50
alternativ	-	310,1	230	30,3	0,00839	51	319,5	7,8	1,6	16,32

Prelucrarea rezultatelor experimentale

Pe baza datelor experimentale inițiale se calculează parametrii tehnologici:

- coeficientul de topire:

- în cc: $\alpha_t = \frac{M_t}{I_s \cdot t} = \frac{13,5}{140 \cdot 0,00936} = 10,3 \frac{g}{A \cdot h}$;

- în ca: $\alpha_t = \frac{11,1}{140 \cdot 0,00839} = 9,5 \frac{g}{A \cdot h}$;

- pierderile:

- în cc: $\psi = \frac{M_p + M_t - M_{ps}}{M_t} = \frac{312,3 + 13,5 - 324,1}{13,5} = 0,13$ sau $\psi\% = \psi \cdot 100 = 0,13 \cdot 100 = 13\%$;

- în ca: $\psi = \frac{310,1 + 11,1 - 319,5}{11,1} = 0,15$ sau $\psi\% = 0,15 \cdot 100 = 15\%$;



Anexa 11

- *coeficientul de depunere:*

- în cc: $\alpha_d = (1 - \psi) \cdot \alpha_t = (1 - 0,13) \cdot 10,3 = 8,96 \frac{g}{A \cdot h}$;

- în ca: $\alpha_d = (1 - 0,15) \cdot 9,5 = 8,09 \frac{g}{A \cdot h}$;

- *randamentul efectiv:*

- în cc: $\eta_E = \frac{M_d}{M_t} = \frac{M_{ps} - M_p}{M_t} = \frac{324,1 - 312,3}{13,5} = 0,87$ sau $\eta_{E\%} = \eta_E \cdot 100 = 0,87 \cdot 100 = 87 \%$;

- în ca: $\eta_E = \frac{319,5 - 310,1}{11,1} = 0,85$ sau $\eta_{E\%} = 0,85 \cdot 100 = 85 \%$;

- *viteza de sudare:*

- în cc: $v_s = 10^{-3} \frac{\alpha_d \cdot I_s}{\rho \cdot A} = 10^{-3} \frac{8,96 \cdot 140}{0,0078 \cdot 15,5} = 10,38 \frac{m}{h}$;

- în ca: $v_s = 10^{-3} \frac{8,09 \cdot 140}{0,0078 \cdot 16,32} = 8,9 \frac{m}{h}$;

- *energia liniară:*

- în cc: $E_l = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\eta_t U_d I_s}{v_s} = 3,6 \cdot 10^3 \frac{0,8 \cdot 22 \cdot 140}{10,38} = 855000 \frac{j}{m}$,

$$E_l \left[\frac{kJ}{cm} \right] = 10^{-5} E_l \left[\frac{j}{m} \right] = 10^{-5} \cdot 855000 = 8,55 \frac{kJ}{cm} ,$$

$$E_l \left[\frac{kWh}{m} \right] = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} E_l \left[\frac{j}{m} \right] = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 855000 = 0,238 \frac{kWh}{m} ;$$



Anexa 11

- în ca: $E_l = 3,6 \cdot 10^3 \frac{0,8 \cdot 22 \cdot 140}{8,9} = 997000 \frac{j}{m}$,

$$E_l \left[\frac{kJ}{cm} \right] = 10^{-5} \cdot 997000 = 9,97 \frac{kJ}{cm},$$

$$E_l \left[\frac{kWh}{m} \right] = \frac{1}{3,6 \cdot 10^6} \cdot 997000 = 0,277 \frac{kWh}{m};$$

- *coeficientul de pătrundere:*

- în cc: $\psi_p = \frac{l}{p} = \frac{l}{4 \cdot r} = \frac{l}{4 \cdot 0,22 \cdot \sqrt{E_l}} = \frac{7,5}{4 \cdot 0,22 \cdot \sqrt{8,55}} = \frac{7,5}{2,6} = 2,9;$

- în ca: $\psi_p = \frac{7,8}{4 \cdot 0,22 \cdot \sqrt{9,97}} = \frac{7,8}{2,8} = 2,8;$

- *coeficientul de supraînălțare:*

- în cc: $\psi_h = \frac{l}{h} = \frac{7,5}{1,5} = 5,0;$

- în ca: $\psi_h = \frac{7,8}{1,6} = 4,9;$

- *coeficientul de formă:*

- în cc: $\psi_H = \frac{l}{H} = \frac{l}{h+s} = \frac{7,5}{1,5+4} = 1,4;$

- în ca: $\psi_H = \frac{7,8}{1,5+4} = 1,4.$



Anexa 11

Parametrii tehnologici calculați se centralizează în tabelul următor:

Tipul curentului	α_t $\left[\frac{g}{A \cdot h} \right]$	ψ		α_d $\left[\frac{g}{A \cdot h} \right]$	η_E		v_s $\left[\frac{m}{h} \right]$	E_l		ψ_p	ψ_h	ψ_H
		[-]	[%]		[-]	[%]		$\left[\frac{j}{m} \right]$	$\left[\frac{kWh}{m} \right]$			
continuu	10,3	0,13	13	8,96	0,87	87	10,38	$8,55 \cdot 10^{-5}$	0,238	2,9	5,0	1,4
alternativ	9,5	0,15	15	8,09	0,85	85	8,9	$9,97 \cdot 10^{-5}$	0,277	2,8	4,9	1,4

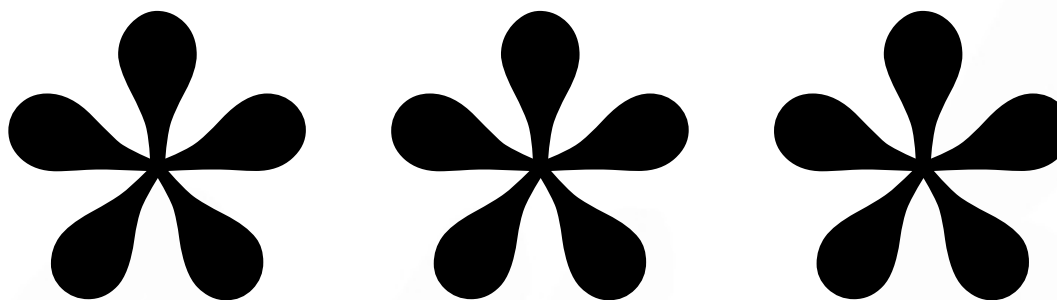
Interpretarea rezultatelor experimentale

În ambele cazuri amorsarea se produce ușor, arcul electric este stabil, topirea are loc în picături fine cu stropire redusă, iar zgura acoperă bine rândul de sudură și după solidificare se îndepărtează ușor.

La sudarea în curent continuu cusătura sudată, ca aspect, este cu solzi fini, uniform orientați, iar în curent alternativ, solzi de mărime medie, orientați în ansamblu.

Parametrii tehnologici sunt comparabili, ușor mai ridicați în cazul sudării în curent continuu.

Dacă la locul de muncă se dispune de ambele utilaje este de preferat sudarea în curent continuu.





TEHNOLOGIA MATERIALELOR

Lucrări practice

Calculul consumului de electrozi și a normei de timp la
sudarea manuală cu arc electric descoperit



CALCULUL CONSUMULUI DE ELECTROZI ȘI A NORMEI DE TIMP LA SUDAREA MANUALĂ CU ARC ELECTRIC DESCOPERIT

În vederea determinării consumurilor optime de materiale și timp necesare la proiectarea proceselor tehnologice de sudare se impune cunoașterea modului de calcul a consumului de electrozi și a normei de timp pentru realizarea unei structuri sudate.

Firmele care au ca obiect de activitate sudarea metalelor au elaborat normative pentru consumurile de materiale și timp specifice procedeelor de sudare aplicate. De asemenea, firmele avansate au trecut la elaborarea unor soft-uri pe baza normativelor.

Lucrarea prezintă elementele teoretice care stau la baza determinării consumului de electrozi și a normei de timp pentru procedeul sudării manuale cu arc electric descoperit. Pentru aprofundare sunt prezentate și unele aplicații.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi și a normei de timp se face pe baza unor relații determinate atât analitic cât și experimental.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Cantitatea de electrozi necesară pentru executarea unei îmbinări sudate depinde de următorii factori:

- masa metalului ce trebuie depus pentru formarea cusăturii sudate;
- randamentul efectiv al tipului de electrod utilizat;
- învelișul electrodului;
- pierderile prin capete neutilizate.

Masa metalului depus depinde de forma și dimensiunile rostului, care implică forma și dimensiunile finale ale cusăturii sudate. Forma marginilor pieselor supuse sudării depinde de grosimea materialului și de procedeul de sudare folosit. Modul de pregătire a marginilor și de realizare a îmbinării sudate se stabilesc, de regulă, prin documentația de execuție, în baza calculelor și a prescripțiilor tehnice în vigoare, în funcție de procedeul de sudare folosit.

Pregătirea pieselor de îmbinat din oțel, la sudarea cu arc electric cu electrod învelit, face obiectul standardului SR EN 29692:1994. Formele și dimensiunile principalelor rosturi prevăzute în acest standard sunt prezentate în *Tabelul 13.1*.

Masa metalului depus pentru întreaga cusătură, M_d , se determină cu relația:

$$M_d = 10^{-3} \rho \cdot A \cdot L \quad [\text{kg}] \quad (13.1)$$

în care: ρ este masa specifică a metalului depus, în $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ($\rho_{\text{oțel}} = 7,8 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$);
 A – secțiunea transversală a cusăturii, în mm^2 (*Tabelul 13.1*);
 L – lungimea cusăturii, în m .



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Tabelul 13.1. Formele și dimensiunile rosturilor la sudarea cu arc electric cu electrozi înveliți. Parametri de sudare.

Tipul sudurii	Forma rostului	Forma îmbinării	Relația pentru calculul secțiunii rostului A [mm ²]	Parametrii geometrici						Regimul de sudare			Timpul auxiliar t_{a1} / lm	Cod aplicație
				α, β [°]	s [mm]	b [mm]	c [mm]	l [mm]	h [mm]	n	d_e [mm]	I [A]		
Cap la cap	în I		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h$	-	2	1,5	-	6	1	1	2,5	80	2,59	1I2
					3	2	-	7	1	1	3,25	120	2,54	1I3
					4	2	-	7,5	1,5	1	4	170	2,52	1I4
			$A = s \cdot b + \frac{4}{3} l \cdot h$	-	3	2	-	6,5	1	2	3,25	120	4,33	2I3
					4	2	-	6,5	1,5	2	3,25	120	4,63	2I4
					6	2,5	-	8,5	1,5	2	4	170	5,20	2I6
	în V		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	60 ± 5	3	1,5	1,5	8	1	1	3,25	120	2,63	1V3
					6	2	2	11	1	2	4	170	4,05	1V6
					12	2,5	2,5	18	1,5	4	5	200	6,38	1V12
					24	3	3	33	3	5	6	250	17,14	1V24
					30	3	3	40	3	7	6	250	24,90	1V30
	în X		$A = s \cdot b + \frac{4}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	60 ± 5	12	2	2	12	1,5	4	4	170	7,76	2X12
					14	2	2	13	1,5	4	4	200	8,16	2X14
					24	2	2	19	2	6	5	200	13,20	2X24
					40	2,5	2	28	2,5	8	6	250	27,35	2X40
					60	2,5	3	34	2,5	10	6	250	52,12	2X60
	în 1/2 V		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	50 ± 5	6	2	2	11	1,5	2	3,25	120	4,43	1/2V6
					12	2	2	17	2	3	5	200	6,34	1/2V12
					24	2	2	30	2	7	5	200	16,88	1/2V24
					26	2	2	35	2	5	6	250	19,03	1/2V26
					30	2	2	39	2	7	6	250	24,63	1/2V30
De colț	în T sau L		$A = s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h + \frac{1}{2} (s - c)^2 \cdot \frac{\alpha}{2}$	50 ± 5	4	2	1	8	2	1	3,25	120	3,46	1TL4
					6	2	1	10	2	2	3,25	120	5,03	1TL6
					12	2	2	16	2	3	5	200	7,48	1TL12
					24	2	2	30	2,5	5	5	200	18,14	1TL24
					40	2	2	48	3	7	6	250	42,54	1TL40



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Masa metalului topit, M_t , pentru realizarea cusăturii depinde de tipul electrodului utilizat prin intermediul randamentului efectiv, η_E , al acestuia. Unele caracteristici pentru electrozii tip E 44T sunt prezentate în *Tabelul 13.2*, iar randamentul efectiv pentru alte tipuri de electrozi este dat în *Tabelul 13.3*. Cunoscând faptul că randamentul efectiv al tipului de electrod se determină cu relația:

$$\eta_E = \frac{M_d}{M_t},$$

se deduce că:

$$M_t = \frac{1}{\eta_E} \cdot M_d \quad [kg] \quad (13.2)$$



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Tabelul 13.2. Caracteristicile electrozilor tip E 44T

Dimensiunile electrodului		Masa electrodului acoperit	Masa sârmei electrodului	Coeficientul de masă absolut al învelișului	Lungimea capătului neutilizat	Pierdere absolută prin capete neutilizate	Randamentul efectiv absolut al tipului de electrod	Coeficientul de depunere
Diametrul d_e [mm]	Lungimea inițială l_e [mm]	m_e [g]	m_s [g]	δ [-]	l_c [mm]	ψ_c [-]	η_E [-]	$\alpha_d \left[\frac{g}{A \cdot h} \right]$
2	450	16,2	11,1	0,46	50	0,11	0,87	7,5
2,5	450	25,2	17,23	0,46	50	0,11	0,87	8,4
3,25	450	42,8	29,3	0,46	50	0,11	0,87	9,3
4	450	65,0	44,5	0,46	50	0,11	0,87	10,0
5	450	101,0	69,2	0,46	50	0,11	0,87	10,2
6	450	144,8	99,2	0,46	50	0,11	0,87	11,5

Masa de electrod utilizat efectiv, M_{ef} , pentru execuția cusăturii depinde de învelișul electrodului prin coeficientul de masă al învelișului, δ , definit prin relația:

$$\delta = \frac{m_{inv}}{m_s}$$

în care: m_{inv} este masa învelișului electrodului, în g;
 m_s – masa sârmei electrodului, în g.

Ținând seama de faptul că masa electrodului, m_e , se determină cu relația:

$$m_e = m_s + m_{inv} \text{ [g]},$$

se obține:

$$m_e = (1 + \delta)m_s \text{ [g]},$$

de unde se deduce:

$$M_{ef} = (1 + \delta) \cdot M_t \text{ [kg]} \quad (13.3)$$



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Nr. crt.	Marca electrodului	Randamentul efectiv η_E	Coeficientul de corecție k_b	Destinația
1.	E 44T	0,87	1,00	Sudarea oțelurilor nealiate și slab aliate. Exemplu: OL 37; OL 44; OL 52 etc.
2.	SUPERTIT	0,93	1,00	
3.	SUPERTIT FIN	0,93	1,00	
4.	SUPERBAZ	1,16	0,85	
5.	UNIBAZ	1,02	0,85	
6.	NIBAZ 65	1,13	0,85	Sudarea oțelurilor slab aliate și de înaltă rezistență și a oțelurilor utilizate la temperaturi scăzute. Exemple: - oțeluri cu limita de curgere ridicată – C 420; C 440; C 500; C 620 etc. - oțeluri pentru construcții navale de tonaj mediu, respectiv mare – A32; D32; E32 și A40; D40; E40.
7.	MoCr1B	1,01	0,83	Sudarea oțelurilor termorezistente. Exemplu: oțeluri pentru cazane și recipiente sub presiune rezistente la temperaturi ridicate (K) și la temperaturi scăzute (R) – K41; K47; K52; R37; R44; R52 etc.
8.	ECr19Ni12MoNbB	0,95	0,80	Sudarea oțelurilor inoxidabile și refractare. Exemplu: 12 MoCr 50; 12 MoCr 90; 20 VNiMoCr 120; 20 VNiWMoCr 120 etc.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul consumului de electrozi înveliți

Pentru determinarea consumului total de electrozi, M_e , necesar la formarea cusăturii se au în vedere și pierderile prin capete neutilizate, ψ_c , definite prin relația:

$$\psi_c = \frac{l_c}{l_e}$$

în care: l_c este lungimea capătului neutilizat din electrod, în mm ;
 l_e – lungimea totală a electrodului, în mm .

Ținând seama de faptul că lungimea efectiv utilizată din electrod, l_{ef} , se determină cu relația: $l_{ef} = l_e - l_c$ [mm], se obține: $l_e = \frac{l}{1 - \psi_c} l_{ef}$ [mm], de unde,

$$M_e = \frac{l}{1 - \psi_c} M_{ef} \text{ [kg]}. \quad (13.4)$$

Cantitatea de electrozi necesară pentru executarea unei îmbinări sudate se obține coroborând relațiile (13.1) ÷ (13.4). Astfel:

$$M_e = 10^{-3} \frac{l + \delta}{\eta_E (1 - \psi_c)} \rho A L \text{ [kg]}. \quad (13.5)$$



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Norma de timp reprezintă durata necesară pentru executarea unei operații tehnologice, în condiții tehnico-organizatorice date și se exprimă în minute. Pe baza normei de timp se face normarea tehnică.

La stabilirea normei de timp, ca motivație tehnică, se au în vedere următoarele condiții:

- folosirea rațională a utilajului;
- organizarea rațională a muncii;
- pregătirea profesională a personalului.

Structura normei de timp, N_t , pentru realizarea unei piese dintr-un lot este definită prin relația generală:

$$N_t = \frac{t_{pi}}{m} + t_{op} + t_{dl} + t_{on} \quad [min] , \quad (13.6)$$

în care: t_{pi} este timpul de pregătire-încheiere, în $\frac{min}{lot}$;
 m – numărul de piese din lot;
 t_{op} – timpul operativ, în min ;
 t_{dl} – timpul de deservire a locului de muncă, în min ;
 t_{on} – timpul de odihnă și necesități fiziologice, în min .



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Timpul de pregătire-încheiere cuprinde elementele necesare pregătirii operației date (Tabelul 13.4). Are o pondere semnificativă numai în cazul producției individuale și de serie mică.

Tabelul 13.4. Structura timpului de pregătire-încheiere

Nr. crt.	Denumirea elementelor de muncă	Tip operație		
		simplă	medie	complexă
1.	Primirea sarcinii de producție, a indicațiilor și instrucțiunilor	3,5	4,5	5,5
2.	Studiul documentației și a modului de lucru	-	5,0	9,0
3.	Pregătirea dispozitivelor	-	5,0	13,0
4.	Predarea lucrării executate	2,5	2,5	3,5
Timpul total de pregătire-încheiere		6,0	17,0	31,0

Timpul operativ are două componente, conform relației:

$$t_{op} = t_b + t_a \text{ [min]}, \quad (13.7)$$

în care: t_b este timpul de bază, în min;
 t_a – timpul auxiliar, în min.

Timpul de bază este timpul în care se formează cusătura sudată prin depunerea metalului din electrod, deci timpul în care are loc menținerea arcului.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Pentru un singur strat depus pe o parte,

$$t_b = 60 \frac{\rho \cdot A}{I \cdot \alpha_d} L \text{ [min]} , \quad (13.8)$$

în care pe lângă notațiile anterioare:

I este intensitatea curentului de sudare, în A;

α_d – coeficientul de depunere, în $\frac{g}{A \cdot h}$.

Pentru mai multe straturi depuse pe o parte,

$$t_b = 60 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{I_i \cdot \alpha_{d_i}} \cdot L \text{ [min]} , \quad (13.9)$$

în care: n este numărul de straturi depuse;

A_i – secțiunea stratului i , în mm^2 ;

I_i – intensitatea curentului de sudare pentru stratul i , în A;

α_{d_i} – coeficientul de depunere al electrodului la sudarea stratului i , în $\frac{g}{A \cdot h}$.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

De regulă, pentru stratul de la rădăcină, în vederea evitării fisurării la cald sau la rece, se utilizează electrozi bazici, celelalte straturi sudându-se cu tipul de electrod ales conform regimului de sudare prestabilit.

Secțiunea stratului i se alege $A_i = \frac{A}{n}$, intensitatea curentului de sudare se ia din *Tabelul 13.1*, iar coeficientul de depunere se determină în funcție de diametrul și tipul electrodului folosit cu relația:

$$\alpha_{d_i} = k_{b_i} \cdot \alpha_{d_{E44T}} \left[\frac{g}{A \cdot h} \right], \quad (13.10)$$

în care: k_{b_i} este coeficientul de corecție al timpului de bază datorat schimbării tipului de electrod în raport cu electrodul de referință E 44T (*Tabelul 13.3*);

$\alpha_{d_{E44T}}$ – coeficientul de depunere al electrodului de referință E 44T, corespunzător diametrului de electrod utilizat (*Tabelul 13.2*).

Timpul auxiliar include toate operațiile indispensabile realizării cusăturii sudate, dar care nu fac parte din operația de sudare propriu-zisă. Componenta acestuia este dată de relația:

$$t_a = (t_{a_1} + t_{a_2}) \cdot L \text{ [min]}, \quad (13.11)$$

în care: t_{a_1} este timpul auxiliar legat de cusătura sudată (examinare cusătură, curățire margini de sudat, înlocuire electrozi, curățire zgură, măsurare și control) și prezentat pentru fiecare tip de cusătură în *Tabelul 13.1*;

t_{a_2} – timpul auxiliar legat de piesa sudată (aducere-așezare-strângere, întoarcere piesă, desfacere și depozitare). În funcție de modul de manevrare și de masa piesei, valorile sunt prezentate în *Tabelul 13.5*.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Tabelul 13.5. Timpi auxiliari legați de piesa sudată (componenta t_{a_2} / lm)

Mod de manevrare	Masa structurii [kg]	Faze		
		Aducere-așezare- strângere [min/m]	Întoarcere [min/m]	Desfacere și depozitare [min/m]
Manual	$0 < M \leq 5$	0,23	0,15	0,18
	$5 < M \leq 10$	0,34	0,20	0,27
	$10 < M \leq 15$	0,45	0,25	0,36
	$15 < M \leq 20$	0,56	0,30	0,45
	$20 < M \leq 25$	0,72	0,35	0,50
	$25 < M \leq 30$	0,90	0,40	0,63
Mecanic	$30 < M \leq 50$	2,4	2,4	2,5
	$50 < M \leq 100$	3,4	2,5	2,6
	$100 < M \leq 200$	3,4	2,6	2,7

Timpul de deservire a locului de muncă cuprinde timpul pentru pornirea și oprirea utilajului precum și timpul necesar întreținerii locului de muncă. Se exprimă în procente din timpul operativ (Tabelul 13.6), în funcție de condițiile de lucru. În mod obișnuit, acesta intervine ca un coeficient, k_{dl} , care multiplică timpul operativ, determinat cu relația:

$$k_{dl} = 1 + \frac{q_{dl}}{100} . \quad (13.12)$$



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Tabelul 13.6. Coeficienți pentru t_{dl} și t_{on}

Condiții de sudare	t_{dl}		t_{on}	
	q_{dl} [% din t_{op}]	k_{dl}	q_{on} [% din t_{op}]	k_{on}
Poziție comodă	3	1,03	9	1,09
Poziție incomodă	3	1,03	11	1,11
Poziție dificilă	4	1,04	15	1,15
Vase închise	5	1,05	18	1,18

Timpul de odihnă și necesități fiziologice se exprimă în același mod ca și timpul de deservire a locului de muncă (Tabelul 13.6), iar relația de calcul a coeficientului k_{on} are forma:

$$k_{on} = 1 + \frac{q_{on}}{100}. \quad (13.13)$$

Pentru completarea unui rost de sudură dat, în condiții bine determinate, elementele sunt constante, astfel încât s-au tabelat valorile aferente îmbinărilor standardizate (Tabelul 13.1). Condițiile de lucru în care s-a elaborat tabelul sunt:

- poziție comodă a sudorului;
- sudură orizontală, în linie dreaptă;
- lungimea cordonului mai mare decât 700mm;
- sudură de rezistență normală;
- sudură cu marginile prelucrate după debitare;
- sudură continuă;
- sudură cu suprafața convexă;
- sudură cu electrozi tip E 44T.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Pentru calculul valorilor t_b și t_{a_1} , pentru alte condiții de sudură decât cele enunțate s-au elaborat coeficienți de corecție pentru fiecare caz în parte.

Timpul operativ, în cazul unei piese prevăzute cu mai multe îmbinări sudate se determină folosindu-se relația:

$$t_{op} = \sum_{j=1}^p \left\{ \left[(t_b)_j + (t_{a_1})_j \right] \cdot k_j + (t_{a_2})_j \right\} \cdot L_j \text{ [min]}, \quad (13.14)$$

în care: p este numărul de îmbinări sudate;
 $(t_b)_j$ – timpul de bază, calculat cu relațiile (13.8) sau (13.9), pentru îmbinarea j ;
 $(t_{a_1})_j$ – timpul auxiliar legat de cusătura sudată recomandat pentru îmbinarea j în *Tabelul 13.1*;
 L_j – lungimea cordonului j ;
 k_j – coeficientul total de corecție pentru îmbinarea j determinat de condițiile reale de lucru față de cele de elaborare a normelor.



ELEMENTE TEORETICE

Calculul normei de timp

Coeficientul total de corecție pentru o îmbinare dată se determină cu relația:

$$k = \prod_{l=1}^6 k_l, \quad (13.15)$$

în care:

- k_1 este coeficientul de corecție în funcție de poziția în spațiu a sudurii și de poziția sudorului;
- k_2 – coeficientul de corecție în funcție de lungimea cusăturii sudate;
- k_3 – coeficientul de corecție care ține seama de condițiile impuse îmbinării;
- k_4 – coeficientul de corecție în funcție de pregătirea marginilor;
- k_5 – coeficientul de corecție în funcție de caracteristicile cordonului;
- k_6 – coeficientul de corecție în funcție de tipul suprafeței cordonului.

Coeficienții k_l se aleg din *Tabelul 13.7*.

Norma de timp pentru realizarea unei structuri sudate se obține, coroborând relațiile (13.6)÷(13.15). Astfel:

$$N_t = \frac{t_{pi}}{m} + \left\{ \sum_{j=1}^p \left[\left(\frac{60 \cdot \rho}{\alpha_{dE44T}} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{I_i \cdot k_{bi}} \right)_j + (t_{a1})_j \right) \cdot \left(\prod_{l=1}^6 k_l \right)_j + (t_{a2})_j \right] \cdot L_j \right\} \cdot k_{dl} \cdot k_{on} \quad [min] \quad (13.16)$$



APLICAȚII

În cadrul orelor de lucrări practice, fiecare student va primi o temă cu date concrete (*Tabelul 13.8*), pentru care va determina consumul de electrozi și norma de timp utilizând partea teoretică a lucrării.

Referatul întocmit va fi predat cadrului didactic la sfârșitul timpului afectat lucrării. Un exemplu de referat este prezentat în **Anexa 13**.



APLICAȚII

Tabelul 13.7. Coeficienți de corecție în funcție de condițiile de sudare.

	Poziția sudurii	Felul sudurii		Schema	Simbol	Poziția sudorului		
						Comodă	Incomodă	Dificilă
k_1	În plan orizontal	În linie dreaptă			S_{11}	1,00	1,10	1,15
		În linie curbă			S_{12}	1,05	1,15	1,20
		Inelară			S_{13}	1,15	1,20	1,30
	În plan vertical	Inelară	Cu rotirea piesei		S_{14}	1,05	1,15	1,20
			Fără rotirea piesei			1,15	1,25	1,35
		În linie dreaptă	Lateral		S_{15}	1,15	1,25	1,30
			Vertical		S_{16}	1,20	1,30	1,40
	Pe plafon	În linie dreaptă			S_{17}	1,25	1,35	1,50
		În linie curbă			S_{18}	1,30	1,40	1,55
Sudură interioară (compartimente închise)					S_{19}	1,16		



APLICAȚII

Tabelul 13.7. Coeficienți de corecție în funcție de condițiile de sudare.

k_2	Lungimea cusăturii sudate, L [mm]			
	$L < 100$			1,35
	$100 \leq L < 200$			1,20
	$200 \leq L < 500$			1,12
	$500 \leq L < 700$			1,06
	$L \geq 700$			1,00
k_3	Condiții impuse îmbinării sudate			
	Rezistență normală			S_{31} 1,00
	Rezistență ridicată (probă de presiune) $p [at]$	$p < 15$	S_{32}	1,10
		$15 \leq p \leq 30$	S_{33}	1,15
		$30 \leq p \leq 100$	S_{34}	1,30
		$100 \leq p \leq 200$	S_{35}	1,40
k_4	Modul de pregătire a marginilor			
	Margini prelucrate după debitare			S_{41} 1,00
	Margini neprelucrate după debitare cu arc electric			S_{42} 1,05
	Margini neprelucrate după debitare cu flacără			S_{43} 1,10
k_5	Caracteristicile cordonului de sudură			
	Sudură continuă			S_{51} 1,00
	Sudură intermitentă			S_{52} 1,15
k_6	Tipul suprafeței cordonului			Îmbinări cap la cap Îmbinări în colț
	Convexă			S_{61} 1,00 1,00
	Plană			S_{62} - 0,90
	Concavă			S_{63} - 0,85



APLICAȚII

Tabelul 13.8. Aplicații privind determinarea consumului de electrozi și a normei de timp pentru executarea unor structuri sudate prin sudare manuală cu arc electric descoperit.

Cod aplicație (Tabelul 13.1)	Material structură sudată	Lungimea totală a cusăturii, L [m]			Mărimea lotului m [buc]	Tip operație	Masa structurii M [kg]	Poziția sudorului	Condiții de sudare – simbol pentru				
		L_1	L_2	L_3					k_1	k_3	k_4	k_5	k_6
1I2	OL 37	1,75	0,30	0,52	20	simplă	10	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{42}	S_{52}	S_{61}
1I3	OL 44	1,30	0,15	0,60	20	simplă	15	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{52}	S_{61}
1I4	OL 52	1,10	0,20	0,55	20	simplă	20	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{52}	S_{61}
2I3	K41	1,50	-	-	10	medie	5	incomodă	S_{11}	S_{32}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2I4	K 47	2,00	-	-	10	complexă	20	dificilă	S_{17}	S_{33}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2I6	K 52	0,95	-	-	10	complexă	25	dificilă	S_{17}	S_{33}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1V3	R 37	1,50	0,60	0,20	20	simplă	10	comodă	S_{11}	S_{32}	S_{41}	S_{52}	S_{61}
1V6	R 44	1,10	-	-	20	medie	15	incomodă	S_{16}	S_{33}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1V12	R 52	0,90	-	-	20	medie	25	incomodă	S_{15}	S_{33}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1V24	C 420	0,50	-	-	20	complexă	25	dificilă	S_{15}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1V30	C 440	0,70	-	-	20	complexă	30	dificilă	S_{15}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2X12	C 500	1,20	-	-	10	medie	25	incomodă	S_{16}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2X14	C 620	1,10	-	-	10	medie	25	incomodă	S_{16}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2X24	C 620	0,80	-	-	10	complexă	30	dificilă	S_{15}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2X40	C 620	0,55	-	-	10	complexă	30	dificilă	S_{15}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
2X60	C 620	0,48	-	-	10	complexă	50	dificilă	S_{15}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
½V6	12 MoCr 50	1,40	-	-	20	simplă	25	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
½V12	12 MoCr 90	0,90	-	-	20	medie	30	incomodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
½V24	A 32	0,80	-	-	20	medie	50	incomodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
½V26	D 32	0,70	-	-	20	complexă	30	dificilă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
½V30	E 32	0,60	-	-	20	complexă	50	dificilă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1TL4	20 VNiMoCr 120	1,50	0,30	0,60	20	simplă	15	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{52}	S_{61}
1TL6	20 VNiWMoCr 120	1,30	-	-	20	simplă	20	comodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1TL12	A 40	1,10	-	-	20	medie	25	incomodă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1TL24	D 40	0,90	-	-	20	complexă	30	dificilă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}
1TL40	E 40	0,70	-	-	20	complexă	50	dificilă	S_{11}	S_{31}	S_{41}	S_{51}	S_{61}



Anexa 13

Să se calculeze consumul de electrozi și norma de timp pentru executarea unei structuri sudate prin sudare manuală cu arc electric descoperit. Cod aplicație: 112.

Consumul de electrozi pentru întreaga sudură se determină utilizând relația generală (13.5), care particularizată pentru $A = s \cdot b + \frac{2}{3}l \cdot h$ și $L = L_1 + L_2 + L_3$ devine:

$$M_e = 10^{-3} \frac{1 + \delta}{\eta_E (1 - \psi_c)} \cdot \rho \cdot \left(s \cdot b + \frac{2}{3}l \cdot h \right) \cdot (L_1 + L_2 + L_3) \text{ [kg]} .$$

În cazul utilizării electrozilor tip E 44T,

$$M_e = 10^{-3} \frac{1 + 0,46}{0,87(1 - 0,11)} \cdot 7,8 \cdot \left(2 \cdot 1,5 + \frac{2}{3}6 \cdot 1 \right) \cdot (1,75 + 0,30 + 0,52) \text{ kg} ,$$

se obține: $M_e = 0,264 \text{ kg}$.



Anexa 13

Norma de timp pentru realizarea structurii sudate se determină utilizând relația generală (13.16), care particularizată pentru $n = 1$ și același tip de îmbinare pentru toate cusăturile, devine:

$$N_t = \frac{t_{pi}}{m} + \left[\left(\frac{60 \cdot \rho}{\alpha_{d_{E44T}}} \cdot \frac{s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h}{I \cdot k_b} + t_{a1} \right) \cdot \sum_{j=1}^3 L_j \cdot \left(\prod_{l=1}^6 k_l \right)_j + t_{a2} \cdot \sum_{j=1}^3 L_j \right] \cdot k_{dl} \cdot k_{on} \text{ [min]} .$$

Ținând seama de faptul că o parte din condițiile de sudare nu se modifică de la o cusătură la alta, relația se scrie:

$$N_t = \frac{t_{pi}}{m} + \left\{ \left(\frac{60 \cdot \rho}{\alpha_{d_{E44T}}} \cdot \frac{s \cdot b + \frac{2}{3} l \cdot h}{I \cdot k_b} + t_{a1} \right) \cdot k_1 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot [L_1 \cdot (k_2)_1 + L_2 \cdot (k_2)_2 + L_3 \cdot (k_2)_3] + \right. \\ \left. + t_{a2} (L_1 + L_2 + L_3) \right\} \cdot k_{dl} \cdot k_{on} \text{ [min]},$$

iar prin înlocuire se obține:

$$N_t = \frac{6}{20} + \left[\left(\frac{60 \cdot 7,8}{8,4} \cdot \frac{2 \cdot 1,5 + \frac{2}{3} \cdot 6 \cdot 1}{80 \cdot 1} + 2,59 \right) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot (1,75 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1,12 + 0,52 \cdot 1,06) + \right. \\ \left. + (0,34 + 0,20 + 0,27) \cdot (1,75 + 0,3 + 0,52) \right] \cdot 1,03 \cdot 1,09 \text{ min} .$$

În urma calculelor rezultă: $N_t = 29,33 \text{ min}$.

