



**Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea
bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor
navale – ELNAV - CEEEX 322 / 2006**



CERCETĂRI FUNDAMENTALE ȘI APLICATIVE PRIVIND REALIZAREA BRONZURILOR CuNiAl DESTINATE RECONDIȚIONĂRII ELICELOR NAVALE – ELNAV

CONTRACT CEEEX 322 / 06.10.2006

**ETAPA II / 2007 - Cercetări fundamentale privind obținerea
semifabricatelor deformabile și a electrozilor înveliți de tip CuNiAl**

Activitatea II.1.

Cercetări fundamentale privind rețete de înveliș și produse deformabile sinterizate

Activitatea II.2.

Cercetări fundamentale privind starea de tensiuni la montajul elicei pe arborele port-elice

Activitatea II.3.

Cercetări privind metodele de control a depunerilor cu aliaje de tip CuNiAl

Activitatea II.4.

Metode de încărcare prin sudare a aliajelor neferoase de tip CuNiAl

Activitatea II.5.

Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl

Autori:

UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI – CEMS

S.C. SUDOTIM AS S.R.L. TIMIȘOARA

S.C. TEHNOMAG CLUJ – NAPOCA

S.C. ICEPRONAV GALAȚI

MAI 2007

CUPRINS

OBIECTIVE GENERALE	5
OBIECTIVELE FAZEI DE EXECUTIE	7
REZUMAT	8
CAP. I. CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND REȚETE DE ÎNVELIȘ ȘI PRODUSE DEFORMABILE SINTERIZATE	10
1.1 Retete de invelis si produse deformabile sinterizate	10
1.1.1 Notiuni teoretice privind aliajele de cupru - aluminiu – nichel	10
1.1.1.1 Studiul privind comportarea bronzurilor cu aluminiu	12
1.1.1.2 Adosuri de aliere	14
1.1.1.3 Influența altor elemente asupra proprietăților bronzurilor	17
1.1.2. Analiza tehnologiei de fabricare a electrozilor din bronz	18
1.1.3 Aspecte privind sudarea cuprului si aliajelor sale	28
1.1.3.1 Aspecte generale	28
1.1.3.2 Sudabilitatea aliajelor de cupru	29
1.1.4 Particularitățile depunerii de bronzuri prin sudare electrica	35
1.1.4.1 Pierdere prin evaporare a elementelor de aliere	35
1.1.4.2 Pierdere prin oxidare a elementelor de aliere	38
1.1.4.3 Surse de oxigen din învelișul electrozilor	38
1.1.4.4 Acțiunea gazelor asupra cuprului si aliajelor sale	40
1.1.4.5 Aspecte practice privind realizarea electrozilor din bronz cu vergele sinterizate din pulberi de bronz cu 8 – 10,7 % Al	50
1.1.5 Elaborarea si obtinerea electrozilor cu invelis compozit	53
1.1.5.1 Caracteristicilor electrodului tubular invelit	53
1.1.5.2 Procesele fizico-mecanice caracteristice obtinerii electrozilor cu invelis compozit	54
1.1.5.3 Obtinerea vergelelor de bronz prin procedee specifice metalurgiei si procesarii pulberilor	57
1.1.6. Elaborarea retetelor - metodologia de calcul privind producerea rețetelor de fabricare a electrozilor cu înveliș compozit	70
1.1.6.1 Rețete de fabricare a învelișului electrodului	71
1.1.6.2. Calculul sistemului zgurifiant	72
1.1.6.3. Fabricarea vergelei de electrod	82
BIBLIOGRAFIE	83
CAP. II. MODELAREA STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMĂȚII LA ASAMBLAREA ELICEI PE ARBORELE PORT-ELICE	87
2.1. Tehnologia de montare a elicei navale	87
2.1.1. Posibilități de montare	87
2.1.2. Montajul hidrostatic	88

2.1.3. Geometria canalelor de distribuție și alimentare	91
2.1.4. Conicitatea suprafețelor de contact și erorile admise	92
2.1.5. Geometria capetelor asamblării	94
2.1.6. Pregătirea pieselor în vederea montării	99
2.2. Distribuția de tensiuni și deformații la montarea și în timpul funcționării elicei	100
2.2.1. Distribuția de tensiuni și deformații la montarea elicei	101
2.2.1.1. Strângerea a două piese cilindrice de lungimi diferite	101
2.2.1.2. Strângerea a două piese conice de lungimi diferite, fără abateri de la conicitate	108
2.2.2. Influența forțelor centrifuge asupra strângerii pe suprafața de contact	112
2.2.3. Influența erorilor de conicitate asupra strângerii	115
2.2.4. Influența încovoierii elicei asupra strângerii	119
2.2.5. Influența formei exterioare a butucului elicei	120
2.2.5.1. Studiul tensiunilor în asamblările presate cu periferie necirculară	120
2.2.5.2. Studiul tensiunilor în asamblările presate cu generatoare neliniară	126
2.2.6. Influența accelerației unghiulare asupra asamblării presate	132
2.2.7. Influența câmpului termic tranzitoriu	133
2.2.8. Calculul strângerii la montajul elicelor navale	134
2.2.9. Concluzii asupra influențelor introduse de solicitări și forme complexe	134
2.3. Echipamente și parametri optimi de montaj	135
2.3.1. Echipamente de montaj	135
2.3.1.1. Presa axială	136
2.3.1.2. Pompa manuală de înaltă presiune	137
2.3.1.3. Instalația hidraulică de înaltă presiune	138
2.3.2. Parametri optimi de montaj	139
2.4. Instalații de testare a asamblării	142
2.4.1. Stand pentru montarea și probarea elicelor navale	142
2.4.2. Stand pentru studiul tensiunilor și deformațiilor asamblărilor presate ..	145
2.4.3. Stand pentru studiul rezistenței la oboseală a asamblărilor presate ...	146
BIBLIOGRAFIE	149

CAP. III. METODE DE CONTROL DEFECTOSCOPIC NEDISTRUCTIV PENTRU ALIAJE NEFEROASE DE TIP CuNiAl

151

3.1. Generalități privind încercările și evaluările nedistructive	151
3.2. Metode acustice	156
3.3. Examinări nedistructive prin emisie acustică	169
3.4. Examinarea cu lichide penetrante	184
3.5. Metode de examinare cu lichide penetrante	187
BIBLIOGRAFIE	192

CAP. IV. METODE DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE A ALIAJELOR NEFEROASE DE TIP CuNiAl

195

4.1 Încărcarea prin sudare cu arc electric cu electrozi înveliți și tubulari	196
4.1.1 Principii de bază	196
4.1.2 Diluția și pătrunderea	199
4.1.3 Particularități ale suprafețelor obținute prin încărcare	202
4.1.4 Alegerea materialelor pentru încărcarea prin sudare	203
4.1.5 Tehnologii pentru încărcare prin sudare cu arc electric cu electrozi înveliți	204

4.1.6 Particularități conceptuale ale realizării pieselor prin încărcare cu sudură	206
4.1.7 Criterii pentru alegerea eficientă a procedeelor și a materialelor de încărcare prin sudare	208
4.1.8 Conducerea judicioasă a proceselor de încărcare	212
4.1.9 Alegerea parametrilor tehnologici de încărcare	213
4.1.10 Încărcarea prin sudare cu arc electric cu electrozi tubulari	216
4.1.11 Caracteristicile constructive ale electrozilor tubulari	217
4.2 Încărcarea prin sudare cu arc electric în mediu de gaze protectoare	219
4.2.1. Principii generale	219
4.2.2 Încărcarea prin procedeul de sudare WIG	220
4.2.3 Încărcarea prin procedeul de sudare MIG	222
4.2.4 Concluzii	227
BIBLIOGRAFIE	228

CAP. V. METODE DE TESTARE A ELECTROZILOR ÎNVELIȚI DE TIP CuNiAl 229

5.1 Condiții tehnice de calitate	229
5.1.1 Condiții generale	229
5.1.2 Reguli pentru verificarea calității	231
5.1.3 Metode de verificare	232
5.2 Executarea încercărilor mecanice	235
5.2.1 Generalități	235
5.2.2 Executarea lucrărilor	242
5.2.3 Mențiuni în buletinul de încercare	243
5.3 Determinarea compoziției chimice	243
5.3.1 Generalități	243
5.3.2 Prelevarea probelor	244
5.4 Determinarea caracteristicilor de depunere	249
5.4.1 Generalități	249
5.4.2 Condiții tehnice pentru determinări	251
5.4.3 Executarea determinării	253
5.5 Determinarea patrunderii	255
5.5.1 Pregătirea probelor	255
5.5.2 Prelucrarea epruvetelor	257
5.5.3 Determinarea patrunderii	257
5.5.4 Mențiuni în buletinul de încercare	258
5.6 Determinarea compatibilității materialelor de sudare	258
5.6.1 Pregătirea probelor	258
5.6.2 Prelevarea și prelucrarea epruvetelor	261
5.6.3 Executarea încercărilor	261
5.6.4 Mențiuni în buletinul de încercare	262
ANEXE	263

OBIECTIVE GENERALE

Obiectivul general al proiectului constă în realizarea unor noi materiale, respectiv a electrozilor CuNiAl din pulberi, precum și a tehnologiei de încărcare prin sudare cu aceștia, în condiții de productivitate și de protecție a mediului ridicate. Ca urmare, proiectul se înscrie în obiectivele generale ale programului, de creștere a capacității sistemelor CDI din România de a acumula cunoștințe, rezultate și experiență de prim rang în domenii științifice și tehnologice de vârf și de a le difuza și transfera către mediul economic și social intern pentru creșterea competitivității acestuia, sprijinirea formării unor rețele de cercetare viabile (UNI (P1-CO + P2) + IMM(P3) + ROR (P4 + P5)).

Obiectivele propuse prin acest proiect sunt în concordanță cu obiectivele și prioritățile programului deoarece:

- conduc la realizarea unor materiale avansate noi, cu aplicabilitate imediată și perspective de dezvoltare rapidă a domeniului printr-o nouă calitate dată de: rezistență la uzare superioară (rețete optimizate); productivitate ridicată (sudare electrică cu electrizi groși); pătrundere și diluție reduse (se utilizează electrozi înveliți cu conductibilitatea învelișului ridicată); emisii de fumuri și noxe reduse (curenți de sudare mici, înveliș endoderm);
- conduc la realizarea unui produs ecologic, aplicabil în mediul industrial, care conferă un coeficient de siguranță mare în exploatarea elicelor navale, depunerile fiind similare cu metalul de bază ;
- dezvoltă o nouă tehnologie de omogenizare de precizie a pulberilor cu densități diferite și participări în limite largi de dozare, cu perspective de extindere la procesele de microaliere în arc electric;
- dezvoltă o nouă tehnologie, ecologică, de încărcare prin sudare cu electrozi groși de productivitate ridicată.

Programul experimental adoptat în cadrul proiectului va urmări atingerea următoarelor obiective specifice:

- Dezvoltarea unor noi rețete de înveliș, optimizate pe criteriul omogenității amestecului compozit;

- Dezvoltarea unor noi tehnologii de fabricare ecologică a semifabricatelor deformabile prin sinterizare, destinate obținerii vergelelor de sudare;
- Elaborarea ca element de noutate a tehnologiilor actuale de fabricare a electrozilor înveliți din bronz CuNiAl și a tehnologiilor de încărcare prin sudare cu aceștia;
- Îmbunătățirea tehnologiilor actuale de fabricare a pulberilor din bronz CuNiAl pe sorturi granulometrice și a tehnologiilor de omogenizare și sintetizare a acestora;
- Dezvoltarea unor noi tehnologii de productivitate ridicată, pentru încărcarea prin sudare electrică cu electrozi înveliți de tip CuNiAl a elicilor navale turnate;
- Realizarea unor depuneri (straturi antiuzură) prin încărcare cu electrozii elaborați și testarea acestora;

OBIECTIVELE FAZEI DE EXECUTIE

Obiectivele fazei de executie propuse spre rezolvare prin prezentul proiect sunt specifice etapei de cercetării, în funcție de categoriile de activități admise în Programul CEEX.

Pentru Partener P4- TEHNOMAG CLUJ-NAPOCA: **Rețete pentru învelișul electrozilor de încărcare și pentru produse deformabile sinterizate destinate fabricării electrozilor înveliți din aliaje CuNiAl**

Pentru Partener P1 – CO – UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI: **Tensiuni de montaj și remanente la asamblarea elicei pe arborele port-elice**

Pentru Partener P2 – UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCURESTI – CEMS: **Metode de control defectoscopic nedistructiv pentru aliaje neferoase de tip CuNiAl**

Pentru Partener P3 – SUDOTIM TIMISOARA: **Metode de încărcare prin sudare a aliajelor neferoase de tip CuNiAl**

Pentru Partener P5 – ICEPRONAV GALATI: **Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl**

REZUMAT

Partenerul SC TEHNOMAG SA, a efectuat activitatea II.1.: **Cercetari fundamentale privind retete de invelis si produse deformabile sinterizate** din cadrul etapei II.

În cadrul acestei activitati s-au elaborat retete pentru invelisul electrozilor de incarcare si pentru produse deformabile sinterizate destinate fabricarii electrozilor inveliti pentru materialul de încărcare prin sudare (bronzuri de aluminiu), prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor, destinate reconditionarii elicelor navale.

Pentru atingerea obiectivelor prevazute in planul de realizare aferente acestei activitati in lucrare s-a facut o caracterizare a bronzurilor cu aluminiu, a adaosurilor de aliere si influenta lor asupra aliajului, s-a prezentat tehnologia de realizare a electrozilor din bronz.

Pentru obtinerea pulberilor de tip CuNiAl conform retetei stabilite prin pulverizare din faza lichida, s-au tratat aspectele importante ce intervin la sudarea cuprului si a aliajelor sale precum si comportarea bronzurilor cu aluminiu.

Pentru elaborarea aliajului s-au calculat elementele care intra in incarcatura in doua variante, tinandu-se cont de pierderile care au loc datorita arderii la elaborare.

S-a prezentat modul de elaborare si obtinere a electrozilor inveliti si retete pentru invelisul electrozilor si pentru produsele deformabile sinterizate destinate fabricarii acestor electrozi din aliaje CuNiAl.

UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI a efectuat activitatea II.2.: **Cercetări fundamentale privind starea de tensiuni la montajul elicei pe arborele port-elice** din cadrul etapei II.

La montarea elicei, datorită asamblării cu strângere dintre elice și arbore apar o serie de tensiuni și deformații în structura pieselor asamblate, care se mențin tot timpul funcționării și peste care se suprapun și alte tensiuni datorate solicitărilor exterioare (răsucire, încovoiere, forțe axiale) ale elicei sau a remedierii ei prin sudare. Suma tuturor acestor tensiuni trebuie să se mențină în domeniul de elasticitate a materialului din care este confecționată elicea.

În timpul montajului cu strângere, datorită formei exterioare a butucului elicei și a lungimii ei diferită față de cea a arborelui, apar în elice tensiuni ce nu respectă distribuția preconizată de Lamé. Pentru studiul nostru importante sunt tensiunile și deformațiile ce apar la suprafața exterioară a elicei.

În urma analizei efectuate în acest capitol, putem concluziona că:

- în urma strângerii, presiunea nu este uniform distribuită pe suprafața de contact dintre ea și arbore, atât datorită erorilor de prelucrare cât și datorită influenței capetelor butucului;
- creșterea presiunii în asamblare este mai accentuată la partea în care arborele depășește butucul elicei;

În timpul funcționării asupra elicei vor acționa: momentul de răsucire transmis de motor, forțe axiale de propulsie, momente încovoietoare asupra palelor datorate încărcării lor cu presiunea apei, forțe centrifuge - în timpul funcționării cu o viteză unghiulară constantă și forțe dinamice – datorate variației vitezei unghiulare la pornire și frânare.

Recondiționarea elicei prin sudură nu se efectuează în timpul funcționării, dar aceste încărcări trebuiesc cunoscute pentru a se putea calcula tensiunile ce apar în structura elicei și a verifica dacă zonele recondiționate vor rezista acestor solicitări.

Analizând influențele introduse de variația vitezei unghiulare a elicei se constată că:

- accelerațiile unghiulare care apar la frânarea violentă sau la accelerarea rapidă, conduc la tensiuni radiale și axiale în apropierea muchiei de intrare a butucului, mari, care favorizează apariția alunecărilor la capetele butucului și deci a uzurii de fretare la variația turației;
- forțele centrifuge care apar în timpul funcționării, micșorează strângerea și deci reduc tensiunile normale;
- presiunea creată pe palele elicei, va conduce la solicitare de încovoiere la baza palei, solicitare care suprapusă peste tensiunile remanente de la montajul elicei va întări recomandarea de a se evita sudura la baza palei.

Partenerul UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCURESTI, a efectuat activitatea

II.3.: Cercetări privind metodele de control a depunerilor cu aliaje de tip CuNiAl din cadrul etapei II.

Încercările nedistructive (Nondestructive Testing – NDT) joacă un rol deosebit de important în ceea ce privește siguranța că piesele unei structuri își vor îndeplini funcțiile un interval de timp predeterminat. Specialiștii din domeniul încercărilor nedistructive au creat și implementează încercări prin care caracterizează materiale sau detectează, localizează și măsoară defecte, defecte care pot determina o întreagă gamă de evenimente cu urmări mai mult sau mai puțin periculoase. Testele se aplică în așa fel încât produsul încercat să nu fie afectat, ceea ce definește de fapt încercările nedistructive. Întrucât încercările nedistructive nu afectează în nici un fel integritatea produsului testat, utilizarea lor este foarte utilă în controlul calității produsului care urmează a fi utilizat.

Partenerul SUDOTIM TIMISOARA, a efectuat activitatea **II.4.: Metode de încărcare prin sudare a aliajelor neferoase de tip CuNiAl din cadrul etapei II.**

Cercetările efectuate au evidențiat posibilitățile de depunere a aliajelor de tip CuNiAl prin sudare preferențial prin procedeele :

- Sudare electrică manuală cu electrozi înveliți constituiți din vergea plină și înveliș compozit sau din vergea de tip tubular cu autoprotecție sau cu protecție de înveliș. În situațiile arătate alierea depunerilor se poate realiza din vergea sau mixt din vergea și înveliș.
- Sudarea electrică în mediu de gaz protector, inactiv, cu sîrmă tubulară, cu cămașă din Cu trefilabil și miez pulverulent constituit din pulberi de tip CuNiAl sau amestecuri de pulberi specifice aliajului și componenți de protecție față de oxidare de tip criolitic și/sau fluoroborici.

Partenerul ICEPRONAV GALATI, a efectuat activitatea **II.5.: Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl din cadrul etapei II.**

CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND OBTINEREA SEMIFABRICATELOR DEFORMABILE ȘI A ELECTROZILOR ÎNVELIȚI DE TIP CuNiAl

CAP. I. CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND REȚETE DE ÎNVELIȘ ȘI PRODUSE DEFORMABILE SINTERIZATE – S.C. TEHNOMAG CLUJ – NAPOCA

1.1 RETETE DE INVELIS SI PRODUSE DEFORMABILE SINTERIZATE

1.1.1 NOTIUNI TEORETICE PRIVIND ALIAJELE DE CUPRU - ALUMINIU - NICHEL

Aliajele pe bază de cupru cu aluminiu și nichel, sunt materiale metalice de o foarte mare importanță în tehnică, datorită proprietăților deosebite pe care le posedă, dintre care putem aminti: caracteristici mecanice foarte bune atât la temperaturi ridicate cât și temperaturi scăzute, refractaritate și rezistență la coroziune, proprietăți magnetice (permeabilitate magnetică variabilă sau constantă, pentru magneți permanenți), rezistență la uzură și proprietăți antifricțiune corespunzătoare, coeficient de dilatare practic nul în domeniul de temperatură 0...100 °C sau apropiat de cel al platinei și sticlei, rezistivitate electrică constantă, în intervalul 0...100 °C, mare rezistență electrică, forță termoelectromotoare ridicată etc.

Proprietățile caracteristice ale aliajelor pe baza sistemului Cu – Al - Ni sunt rezistența foarte mare la coroziune, stabilitatea ridicată până la 500 °C; se comportă mai bine decât nichelul în mediu reductor și decât cuprul în mediu oxidant și posedă o rezistență la fluaj superioară comparativ cu aliajele pe baza de cupru și fier.

Aliaje CUPRU – ALUMINIU - NICHEL

Proprietățile mecanice ale aliajelor de cupru cu aluminiu pot fi substanțial îmbunătățite prin aliere cu nichel.

În funcție de principalul element de aliere, aliajele cu bază cupru se pot clasifica în aliaje cu: aluminiu, nichel, mangan, cupru, crom, fier, molibden, siliciu și beriliu. **Aliajul Cu-Al - Ni** face parte din categoria aliajelor cu bază de cupru cu aluminiu.

În figura 1.1 este prezentată diagramă ternară Cu-Ni-Al, în care sunt indicate punctele principalelor compoziții de aliaje. După cum se vede din diagramă, aceste aliaje sunt susceptibile la transformări în stare solidă, datorită separării fazelor intermetalice θ ,

(Ni Al) și β , (NiAl_2) care determină ca solubilitatea aluminiului și nichelului în cupru să se micșoreze o dată cu scăderea temperaturii. [6]

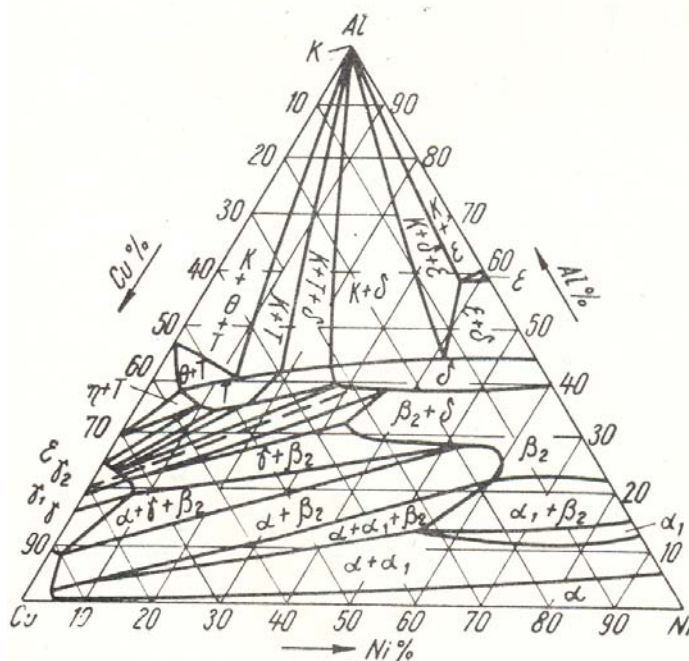


Fig. 1.1 Diagrama ternară Cu-Ni-Al [6]

Astfel, aceste aliaje sunt susceptibile la durificarea structurală prin tratament termic, care constă într-o călire la 900...1000 °C, răcire în apă și revenire la 500...600 °C, când se realizează descompunerea soluției solide α , suprasaturată, cu formarea în sistem a unei structuri eterogene, cu o dispersie foarte înaintată a fazelor precipitate.

Prin aceasta se produce o creștere sensibilă a rezistenței mecanice și durității aliajului. Cel mai mare efect se obține prin tratament termo-mecanic, adică ecrisare după călire și apoi revenire.

Un aliaj de tip cunial prelucrat la cald și la rece are după călire la 900 °C, rezistența mecanică de 25-35 kgf/mm². Deformat la rece în stare călită și apoi revenit la 500 °C, capătă rezistența de 80-90 kgf/mm² și alungirea de 5-10%. Pe scară industrială se folosesc două aliaje: cunial A și cunial B. [6]

Cunial A conține 12...15%Ni, 2,3...3%Al, restul cupru și are greutatea specifică 8,5. Aliajul fără tratament termic are $\sigma_r = 35...38$ kgf/mm² și $\delta = 20\%$, iar după tratament termomecanic $\sigma_r = 80...90$ kgf/mm², alungire 5% și duritate în unități Brinell 260 kgf/mm².

Cunial B conține 5,5...6,5% Ni și 1,2 ...1,8% Al, restul cupru, rezultând caracteristici mecanice relativ mici. Cunial B are $\sigma_r = 36$ kgf/mm² și $\delta = 28\%$, iar duritatea Brinell după tratament termomecanic ajunge la 210 kgf/mm². [6]

1.1.1.1 Studiul privind comportarea bronzurilor cu aluminiu

Aliajele Cu – Al constituie grupa cea mai valoroasă a bronzurilor speciale care pot înlocui multe materiale metalice și pot atinge valori ale proprietăților mecanice comparabile cu ale aliajelor pe baza de tită, wolfram, molibden, nichel, cobalt și ale oțelurilor speciale. În ce privește rezistența la coroziune, bronzurile cu aluminiu sunt considerate printre cele mai bune aliaje pe baza de cupru, fiind în multe cazuri superioare oțelurilor inoxidabile și aliajelor Cu-Ni, preferate din considerații economice.

Aceste aliaje rezistă bine în atmosfere de hidrogen sulfurat, bioxid de sulf, în soluții de cloruri și clorati, în acizi minerali și organici, în apă dulce și apă de mare etc. Ca urmare a formării peliculei de Al_2O_3 care se comportă excelent la acțiunea substanțelor reducătoare, dar rezistă mai puțin în prezența oxidanților puternici.

Numeroasele aplicații în tehnica a acestor materii metalice necesită cunoașterea tot mai aprofundată a caracteristicilor fizico-mecanice, și a transformărilor de fază care se produc în timpul tratamentului termic.

Conform diagramei de echilibru a sistemului Cu - Al, prezentată în figurile 1.2 și 1.3, între aceste două metale pot să se formeze mai multe soluții solide și compusi intermetalici, cele mai importante faze fiind α , β , γ .

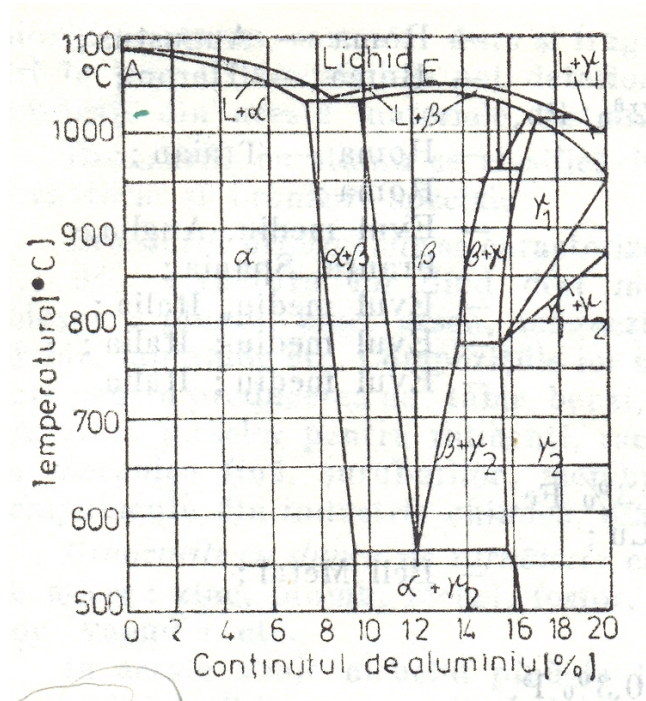


Fig. 1.2 Diagrama de echilibru a sistemului Cu – Al

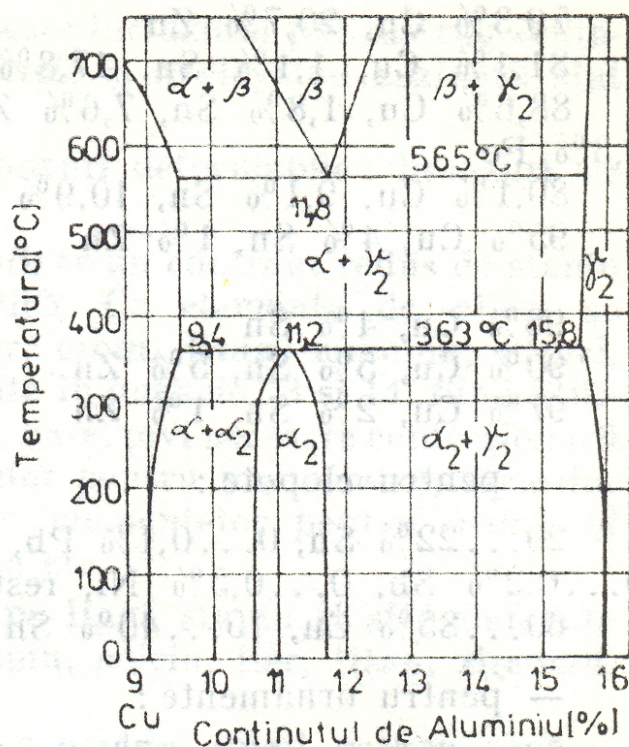


Fig. 1.3 Faze metastabile in aliajele cupru - aluminiu

Solutia solida α , izomorfa cu cupru, cristalizeaza in sistemul cubic cu fete centrate, avind un continut de aluminiu de 7,4% Al la 1 035°C si de 9,4 % Al la 585°C.

Solutia solida β , pe baza compusului intermetalic Cu_3Al , cu un continut de 9 ... 15% Al, fiind maleabila si conductoare, cristalizeaza in sistemul cubic cu volum centrat, iar la temperatura de 565° sufera o transformare eutectoida (fiind stabila numai la temperaturi ridicate).

Descompunerea eutectoida a fazei β este foarte lenta si pentru viteze de racire mai mari de 2°C/minut, aceasta faza sufera transformari bruste de tip martensitic, dind nastere la o serie de faze metastabile : β_1 - cu retea cubica cu volum centrat, ordonata cu un continut de 11,9% Al; β' - cu retea cubica cu fete centrate, foarte deformata; $\beta'1$ - ordonata cu un continut de 11,86% Al; $\beta''1$ - cu retea ortorombica ordonata cu un continut de 13,6% Al. Exista si o faza β'' , asociata cu faza $\beta'1$; aspectul caracteristic al ei, sub forma de rozete, a fost pus in evidenta cu ajutorul unor reactivi speciali.

Solutia solida γ_2 , pe baza compusului intermetalic $\text{Cu}_{33}\text{Al}_{19}$, cristalizeaza in sistemul cubic complex, provine din faza γ_1 , stabila numai la temperaturi ridicate, este dura si fragila si are o slaba conductibilitate.

Din diagrama se observa ca intervalul de solidificare este foarte mic (mai mic decit la alame), 10 ... 13°C, si din aceasta cauza bronzurile cu aluminiu au o buna fluiditate, dau piese compacte, cu o retasura concentrata.

Bronzurile cu aluminiu contin pina la 20 % Al. Cele care au pina la 7,4 % Al prezinta o structura asemanatoare cu bronzurile cu staniu si nu sufera transformari de faza in stare solida, neputand fi calite. La un continut mai mare de aluminiu, in aliajul racit puternic apar fazele α si β ; cu cat este mai mare proportia de faza β , cu atat este mai ridicata duritatea si mai scazuta plasticitatea.

Cu cresterea continutului de aluminiu se imbunatatesc proprietatile de turnare, caracteristicile mecanice si proprietatile antifricțiune. Influenta aluminiului asupra caracteristicilor mecanice poate fi constatata din urmatorul exemplu: adaugarea la cupru a aluminiului in proportie de 6 – 10 % produce o crestere a rezistentei la rupere la tractiune cu 5 daN/mm² pentru fiecare procent.

La turnare, contractia mare la solidificare si absorbtia gazelor contribuie la formarea in piese a unor microretasuri si incluziuni de oxizi care se aglomereaza la limita graunților, favorizind fisurarea sau micșorind valorile proprietatilor mecanice. In plus, aceste materiale metalice prezinta dificultati la sudare si au o rezistenta la coroziune insuficienta in abur supraincalzit.

Deoarece la aceste materiale la turnare uneori apare defectul cunoscut sub denumirea de *autorecoacere*, si au o structura grosolana si fragila, vom realiza in aceasta tema de cercetare materialul prescris prin metalurgia pulberilor.

1.1.1.2 Adosuri de aliere

Multe din neajunsurile enumerate mai sus pot fi anihilate sau reduse prin alierea bronzurilor binare cu diferite elemente cum sint: fier, nichel, mangan, cobalt, beriliu, zirconiu, titan, bor, staniu, zinc, siliciu, plumb, vanadiu, niobiu, tantal, carbon, crom etc., unele dintre acestea in limitele: aluminiu, fier si nichel sub 20%, mangan pina la 15%, beriliu, crom, zirconiu sub 3%, cobalt si zinc sub 10 %.

Fierul finiseaza structura, mareste rezistenta si duritatea, dar micșoreaza fluiditatea aliajului. Astfel, fiecare procent de fier in bronzurile cu aluminiu determina cresterea rezistentei mecanice a acestora cu 2,8 daN/mm². Modificarea structurii aliajelor Cu-Al sub actiunea fierului se datoreste formarii in topitura a particulelor compusului intermetalic FeAl₃, care constituie centrii de cristalizare pentru solutia solida α . In afara de aceasta, fierul impiedica recrystalizarea fazica a bronzului cu aluminiu, iar la o racire lenta frineaza

formarea eutectoidului ($\alpha + \gamma_2$). Structura acestor aliaje se stabilește pe baza diagramei de echilibru a sistemului Cu-Al-Fe și a izotermelor sale prezentate în figurile 1.4 și 1.5.

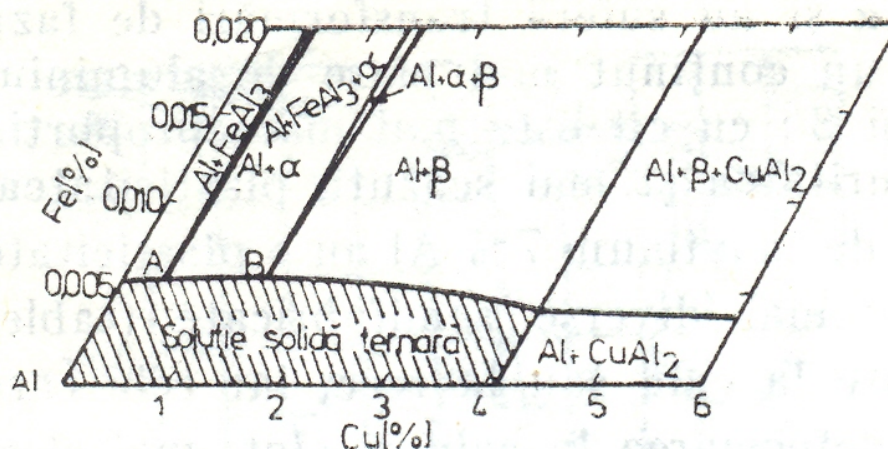


Fig. 1.4 Diagrama de echilibru a sistemului cupru – aluminiu - fier

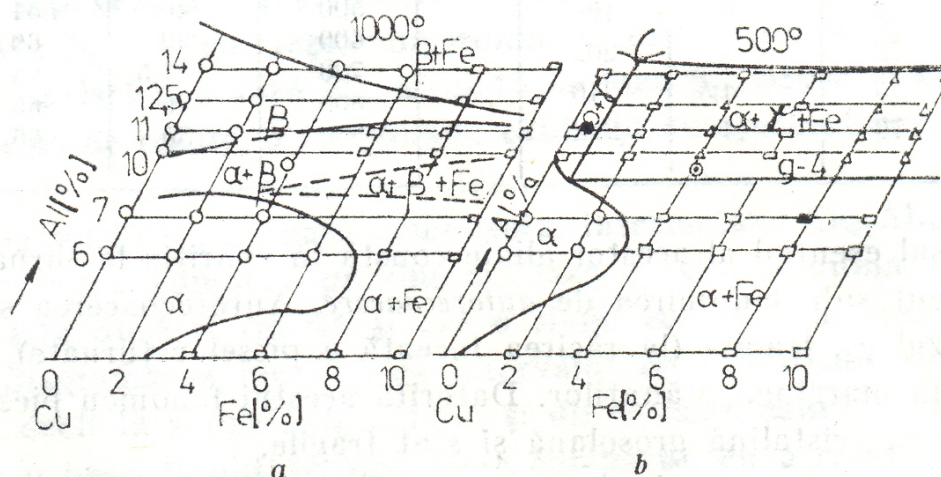


Fig. 1.5 Secțiune izotermică prin diagrama de echilibru a sistemului cupru – aluminiu – fier la 1000°C (a) și 500°C (b)

Conform diagramei de echilibru, la temperaturi sub 585°C aceste materiale metalice au o structură heterofazică, care se compune din soluție solidă α , eutectoid ($\alpha + \gamma$) și compusul intermetalic al fierului cu aluminiul.

Influența acestui element de aliere asupra proprietăților mecanice a bronzurilor cu aluminiu turnate este dată în tabelele 1.1 și 1.2. Pentru îmbunătățirea plasticității și a creșterii durității, acest aliaj se recomandă să fie supus tratamentului termic de normalizare (încalzire pînă la 700°C timp de 3 ... 4 ore și răcire în apă) și tratamentului termic de calire-revenire (încalzire pînă la 950°C, răcire în apă, revenire la 200 ... 300°C timp de 2 ... 3 ore).

Tabel 1.1: Influenta adaosului de fier asupra proprietatilor mecanice ale bronzului cu 10% Al

Compozitia chimica, in %			Proprietati mecanice			
Al	Fe	Cu	R, daN/mm ²	R _h , daN/mm ²	A, %	HR, daN/mm ²
10	1	rest	54	17	24	94
10	2	rest	58	18,5	21	100
10	3	rest	60	20	20	109
10	4	rest	62	20	17	191

Tabel 1.2: Proprietatile mecanice ale unor bronzuri cu aluminiu in stare turnata

Proprietatile mecanice	Compozitia chimica	
	10% Al, rest % Cu	9% Al, 3% Fe, rest % Ni
R, in daN/mm ²	12	57
R _{0,2} , in daN/mm ²	16	19
A, in %	21	26
HB, in daN/mm ²	94	109

Fierul se utilizeaza ca element de aliere in multe bronzuri deformabile:

Cu Al 9 Fe 4; Cu Al 10 Fe 3 Mn 1,5; Cu Al 10 Fe 4 Ni 4

si de turnatorii: Cu Al 11 Fe 6 Ni 6 ; Cu Al 7 Fe 1,5 Pb 1,5; Cu Al 9 Fe 5 Ni 5, care-au inalte caracteristici mecanice, de antifricțiune si o buna rezistenta la coroziune, fiind recomandate, in special, ca inlocuitoare ale bronzurilor cu staniu pentru turnarea pieselor care sint destinate sa lucreze la frecari mari in medii corozive.

În industrie se folosesc bronzuri binare și bronzurile complexe care au în structura lor în afară de cupru și nichel, aluminiu, staniu, zinc, plumb, fosfor, fier și alte elemente de aliere.

Nichelul. Formează cu cuprul soluție solidă, finisează structura și îmbunătățește proprietățile mecanice, mai ales duritatea și rezistența la temperaturi înalte.

La un conținut de 4% Ni în bronzurile cu aluminiu, duritatea lor crește atât de mult, încât devine dificilă prelucrarea prin așchiere.

Adaosul cel mai eficient al bronzurilor cu aluminiu este nichelul, care îmbunătățește caracteristicile mecanice, proprietile anticorozive și antifricțiune. De asemenea mărește compactitatea și rezistența la temperaturi ridicate. În stare solidă nichelul se dizolvă în aceste aliaje pînă la un conținut de 5% și poate să formeze faze noi, de tipul NiAl_3 , care mărește temperatura de topire și lărgeste intervalul de solidificare. Dacă alături de nichel se introduce și fierul, limita solubilității aluminiului în soluția solidă α se deplasează, fenomen care este sesizat numai dacă conținutul elementelor de aliere este de minimum 5% Fe, respectiv 5% Ni. La conținuturi mai mici de fier și nichel concentrația aluminiului în soluția solidă este de 8 ... 8,5%, ceea ce determină diminuarea transformării eutectoidice și odată cu aceasta se evită înrăutățirea proprietăților mecanice și se elimină fragilitatea. De asemenea, în aceste aliaje pot să se formeze diferite faze noi FeAl_3 , NiAl_3 , FeNiAl_8 , precum și faza γ , care conduce la îmbunătățirea proprietăților mecanice, ca urmare a posibilităților de aplicare a tratamentelor termice.

Bronzul cu aluminiu cu 10% Al, 4% Fe, 4% Ni, rest % Cu, în stare turnată are $R = 60 \text{ daN/mm}^2$, $A = 30 \%$, $HB = 140 \dots 170 \text{ daN/mm}^2$ la 20°C , respectiv $R=55, 50, 30 \text{ daN/mm}^2$ și $HB=170, 160, 76 \text{ daN/mm}^2$ la $200, 300, 500^\circ\text{C}$. Aliajul are o largă utilizare în construcția de mașini și aviație, pentru bucse, cuzinete, lagare, supape, bujii, conducte etc.

Dacă conținutul de fier crește la 6,5%, aluminiul la 12%, nichelul la 5,5% și se adaugă 1,25% Mn, după mentinere la 1000°C timp de 2 ore, urmată de o calire în apă, revenire 400°C timp de 4 ore, se obțin: $R = 100 \text{ daN/mm}^2$, $HB=250 \text{ daN/mm}^2$. Valori asemănătoare pentru proprietățile mecanice sînt realizate și în cazul compozițiilor 7% Al, 1,75% Co, 5% Ni, rest % Cu; și 12,5 ... 14,5% Al, 1 ... 6% Ni, 1 ... 4% Co, 1 ... 3% Mn, rest % Cu ..

1.1.1.3 Influența altor elemente asupra proprietăților bronzurilor

Impuritățile dăunătoare întâlnite în bronzuri cu aluminiu pot fi: Mn, Si, Pb, Sn, Zn, Bi, As, Sb, etc.

Manganul. Are o acțiune favorabilă asupra bronzurilor, în sensul că permite obținerea unui material metalic dens, cu proprietăți mecanice îmbunătățite, avînd totodată o acțiune dezoxidantă.

Plumbul se găsește în aliaj sub forma unui constituent liber și moale. Bronzurile cu staniu, cu un conținut de Pb pînă la 2%, nu-și schimbă proprietățile mecanice, în schimb

își îmbunătățesc proprietățile de prelucrare prin așchiere și rezistența la coroziune în mediu de acizi.

Siliciul. S-a observat că un adaos de siliciu în bronzuri, chiar numai în proporții de zecimi de procente, scade mult elasticitatea inițială a aliajului. De aceea, la utilizarea prealiajului Cu – Si ca dezoxidant, trebuie să conducem astfel rafinarea, încât să evităm rămânerea siliciului în bronz, nelegat de oxigen.

În practică, întotdeauna se adaugă o cantitate mai redusă de prealiaj Cu – Si decât cea necesară eliberării oxigenului, care va putea fi eliminat ulterior din bronz cu adaos de prealiaj Cu – P.

SnO₂. În bronzurile obișnuite se întâlnesc adesea porozități și incluziuni sub formă de oxizi. Extrem de dăunătoare sunt incluziunile de SnO₂ care sunt dure și fragile. Aceste incluziuni pot distruge cilindrii în timpul laminării bronzurilor cu staniu și deteriorează lagărele și axele când cuzineții sunt confecționați din aceste aliaje.

Fosforul. În aliaj se introduc adausuri mici de fosfor până la 0,3% pentru dezoxidarea cuprului, înainte de introducerea staniului. La un conținut de fosfor mai mare de 0,3% se mărește rezistența bronzului prin apariția unui constituent structural mai dur și fragil (Cu₃P).

Bronzul Sn 10 cu 1% P se caracterizează printr-o foarte mare rezistență la uzură prin frecări, la ungere deficitară. Fosforul micșorează tendința de saturare cu gaze a bronzului, mărește intervalul de cristalizare și fluiditatea lui, ușurând lipirea și sudarea.

Antimoniul are o influență puternică asupra proprietăților bronzurilor; un procent mai mare face ca bronzul să devină casant (se sfărâmă prin lovire) deoarece formează cu cuprul și staniul compuși fragili, care se separă la marginea grăunților.

Bismutul are o influență puternică asupra proprietăților bronzului. Odată cu creșterea conținutului în bismut scade plasticitatea, elasticitatea și rezistența bronzului datorită apariției eutecticului ușor fuzibil și fragil, care se separă ca fază independentă la marginea grăunților. Ca procent maxim de bismut se poate admite 0,1% Bi.

1.1.2. ANALIZA TEHNOLOGIEI DE FABRICARE A ELECTROZILOR DIN BRONZ

Tehnologia clasică de fabricație a electrozilor inveliti

În acest capitol vor fi prezentate aspecte referitoare la tehnologia de fabricație a electrozilor inveliti.

De la început trebuie menționat că această tehnologie are un grad de complexitate ridicat, datorat numărului mare de operații tehnologice, precum și faptului că, dacă doar una dintre aceste operații nu se desfășoară corespunzător, probabilitatea ca produsul final să nu aibă caracteristicile cerute sunt mari. Din nefericire, posibilitatea de control interfazic este de asemenea destul de redusă. Anumite neconformități, de exemplu sudabilitate, caracteristici chimico-mecanice, aderența invelis, putând fi descoperite doar când produsul este în stadiul final.

Există la nivel mondial două tehnologii importante de fabricație a electrozilor de sudură, tehnologiile A și B. Diferențele dintre cele două tehnologii rezidă în diferențele dintre tipul și caracteristicile echipamentelor de omogenizare-malaxare și presare.

Exceptând aceste particularități, ambele tehnologii cuprind aceleași etape tehnologice importante.

În cele ce urmează este prezentată tehnologia de fabricare a electrozilor înveliți la DUCTIL BUZĂU, membră a grupului AIR LIQUIDE WELDING, tehnologie tip A.

Operațiile tehnologice ce alcătuiesc tehnologia tip A sunt următoarele:

1. Trefilarea și debitarea vergelelor;
2. Concasarea, macinarea și cernerea materiilor prime;
3. Dozarea;
4. Omogenizarea și malaxarea;
5. Brichetarea;
6. Presarea;
7. Preuscarea;
8. Uscarea și calcinarea;
9. Conservarea electrozilor;
10. Ambalarea electrozilor;

1. Trefilarea și debitarea vergelelor

- **trefilarea** este deformarea plastică la rece a sarmei prin trageri succesive prin filiera, până când se obține diametrul stabilit;
- **debitarea** este operația de îndreptare și tăiere a sarmei trefilate în vergele la dimensiunile impuse tehnologic;
- **filiera** este scula tehnologică cu ajutorul căreia se trefilează sarma;

Sarma laminată introdusă în procesul de fabricație trebuie să corespundă din punct de vedere calitativ, având caracteristicile chimice, mecanice și cele dimensionale cuprinse în specificațiile tehnice de aprovizionare;

Sarma laminata este depozitata in sectorul de fabricatie pe sarje si tip de sarma, fiind asezata pe cosuri metalice, iar cu ajutorul unor grinzi rulante se introduce sub desfasuratorul masinii de destunderizat si trefilat.

In functie de dimensiunea vergelelor necesare, se foloseste seria de tragere corespunzatoare.

De obicei, sarma laminata are diametrul de 5.5 mm. In cazul cand diametrul electrozilor trebuie sa fie mai mare de 5 mm (6 sau 8 mm), sarma laminata are un diametru de 8, respectiv 10 mm. Trefilarea se realizeaza prin trecerea firului de sarma printr-o filiera. Aceasta are miezul din carbura metalica si suprafata interioara bine lustruita. Filiera este fixata intr-un suport racit cu apa.

Inainte de tragerea finala, firul de sarma trece printr-o cuva cu apa, care are rolul de a indeparta lubrifiantul ramas pe sarma din tragerile anterioare.

Ultimul grup de tragere este prevazut cu filiera rotativa antrenata de un moto-reductor. Aceasta filiera se utilizeaza pentru calibrarea finala a sarmei inainte de debitare si pentru a micsora uzurile premature ale acesteia in timpul trefilarii, mai ales ca pelicula de lubrifiant ramasa este foarte fina.

Ajuns la dimensiunea finala, firul de sarma este trecut printr-o baie cu apa industriala pentru a fi racit, spalat si uscat cu un jet de aer sub presiune.

Firul se infasoara de 2÷3 ori pe o volanta de alimentare a masinii de debitat, dupa care este introdus intre butucii de antrenare a sarmei in vederea alimentarii corpului de indreptat si a capului de taiere. Corpul de indreptat are in constructia sa bacuri dispuse in zig-zag si are rolul de indreptare a firului de sarma. Acesta este antrenat de un motor electric, prin intermediul unei curele late de transmisie, asigurand o turatie de circa 12 000 ture/ min.

Dupa indreptarea sarmei urmeaza taierea, care se realizeaza cu ajutorul a doua cutite.

Vergelele rezultate dupa taiere sunt preluate de un tren cu role metalice, prevazute cu canale pentru ghidarea si transmiterea vergelelor catre containerul colector. Preluarea in container se face prin intermediul unui fagure metalic dispus in container in vederea repartizarii si aranjarii uniforme a vergelelor. Containerul este asezat pe un carucior mobil care poate fi deplasat sub colector. Dupa umplere, cu ajutorul macaralei se extrage fagurele, iar containerul se aseaza in zona de depozitare.

Containerul va fi etichetat cu etichete metalice, in care este scris sarja, tipul si dimensiunea vergelelor.

2. Concasarea, macinarea, cernerea

Concasarea - operatia de spargere a blocurilor de materii prime in bulgari cu ajutorul concasoarelor in vederea macinarii.

Macinarea - operatia de maruntire cu ajutorul morilor a materialelor concasate pentru a se aduce la o granulatie corespunzatoare fabricarii electozilor de sudura.

Cernerea - operatia de separare a granulelor mai mari decat limita superioara admisa sau de separare a particolelor straine (impuritati).

Materiile prime introduse in procesul de productie trebuie sa corespunda din punct de vedere calitativ, avind caracteristicile cuprinse in specificatiile tehnice de aprovizionare. Feroaliajele sau mineralele sunt introduse in concasorul cu falci. Dupa spargere, cu ajutorul unei benzi transportoare, materialele sunt introduse in concasoare cu valhuri, care continua sfaramarea la dimensiuni mai mici.

Cu ajutorul elevatorului cu cupe, materialul este introdus în buncare. Din aceste buncare, materialele respective sunt aduse la granulatia corespunzatoare conform tehnologiei cu ajutorul morilor oscilante. De la moara, materialul macinat este introdus în buncare de material macinat de unde se incarca in containere in vederea executarii operatiei de cernere. Reziduurile de la cernere (cele care au granulatia prea mare si nu trec prin site) sunt aduse din nou prin concasor si vor fi remacinate.

Reziduurile rezultate de la instalatia de recirculare a gazului (ciclón) si aspiratie vor fi depozitate separat in huse sau buncare (oale de masa), etichetate cu tipul de reziduu continut.

Instalatia de măcinare feroaliaje, este protejata contra exploziei utilizandu-se o instalatie care produce gaz de protectie (azot).

Deoarece feroaliajele sub forma de pulberi fine pot exploda, circuitului tehnologic al acestora este izolat de exterior, in interiorul acestui circuit mentinandu-se un continut de O₂ max 6%.

Suprapresiunea obtinuta prin introducerea azotului, impiedica patrunderea aerului din atmosfera prin eventualele neetanseitati.

La peste 6 % O₂ se comanda automat oprirea instalatiei de macinat feroaliaje.

Tot pentru evitarea exploziei instalatia este prevazuta cu protectie pentru supra-temperatura. Daca temperatura materialului macinat atinge sau depaseste 60°C, instalatia se opreste automat.

Pentru minerale se folosește de asemenea o moară oscilantă cu bare. Pentru marmura se umple cilindrii morii cca 60% cu bare, având bare cu diam. 30 sau 40 mm. Cu ajutorul ecluzei celulare se reglează viteza de scurgere a marmurei. Se prelevează o probă din materialul macinat se efectuează o probă de granulație și dacă este corespunzătoare specificației se dă drumul morii să funcționeze continuu. Dacă granulația nu este conformă se va regla din nou debitul de alimentare al morii până la obținerea distribuției granulometrice dorite.

Cernerea materiilor prime se face în scopul separării eventualelor impurități mecanice, precum și în scopul corectării granulației materialelor. Este indicat ca reziduurile de la cernere să nu depășească 3-5%.

Materialul sitat este colectat în containere.

Containerele sunt așezate pe carucior de unde sunt duse la silozurile corespunzătoare ale instalației de dozare, realizându-se alimentarea acestora.

Dacă granulația materialelor macinate (feroaliaje și minerale) nu e corespunzătoare și după reglajul morii nu se poate obține granulația dorită se va interveni pentru verificarea diametrelor și numărului de bare din mori. Această intervenție este absolut necesară, materiile prime din silozuri trebuind să corespundă prevederilor din tehnologie, după care materialele se reintroduc la macinare pentru obținerea granulației prevăzute în specificațiile tehnice.

Trebuie menționat că, în ultimii ani, ponderea acestor operații tehnologice s-a redus considerabil, din considerente economice și de securitate a mediului. Astfel, majoritatea materiilor prime sunt aprovizionate având caracteristici de distribuție granulometrică asigurate de furnizor, conform specificațiilor de aprovizionare.

Materiile prime folosite la fabricarea electrozilor de sudură trebuie să aibă caracteristicile în conformitate cu specificațiile de aprovizionare, din punct de vedere al caracteristicilor chimice și granulometrice.

3 Dozarea

Alimentare - operație tehnologică de încărcare a silozurilor aferente instalației de dozare cu materii prime în vederea dozării rețetelor de fabricație

Dozare - cântărire manuală sau automată a tuturor componentelor necesare pregătirii invelisului electrozilor conform rețetei de fabricație.

Materiile prime introduse în procesul de producție trebuie să corespundă din punct de vedere calitativ, având caracteristicile cuprinse în specificațiile tehnice de aprovizionare.

Alimentarea silozurilor se va face în conformitate cu specificația în vigoare numai după ce atât operatorul de la alimentare cât și dozatorul au consultat banca de materii prime existentă și au comparat esantioanele cu materiile prime alimentate.

Pe baza programului de dozare, a cartelelor de dozare și a listei de materii prime/siloz, se alimentează cu materiale conforme silozurile de materii prime aferente instalației de dozare.

4. Omogenizarea și malaxarea

Omogenizarea - operația de amestecare a materiilor prime pulverulente în stare uscată în vederea obținerii unei repartii uniforme a acestora în învelișul electrozilor.

Malaxarea - operația de amestecare a materiilor prime omogenizate, cu soluții de silicat de diferite tipuri și cu apă, astfel încât să se obțină o pastă plastificată și omogenă. Înaintea omogenizării și malaxării unei noi sarje (oale) de masă se verifică starea de curățire a malaxorului astfel încât să nu existe urme de la o malaxare anterioară.

Mijloacele de măsură și control aferente utilajului de malaxare trebuie să fie funcționale și verificate metrologic.

Calitatea amestecului umed depinde de cantitatea și caracteristicile liantului, de timpul de malaxare (dacă acesta este prea mic, fenomenul de liere a particulelor - compactitatea amestecului nu atinge nivelul dorit, iar dacă este prea mare, se formează aglomerări, bulgări de pastă, lucru ce conduce la apariția fenomenului de excentricitate a pastei depusă pe vergea, implicit la o sudabilitate necorespunzătoare), de tipul malaxorului folosit. Ca și în cazul omogenizării, timpul de malaxare se determină experimental, dar el nu are influență asupra sudabilității, caracteristicilor chimice și mecanice ale metalului depus. În schimb, influențează aderența învelișului pe vergeaua metalică.

5. Brichetarea

Brichetarea - operația de compactizare sub presiune a pastei rezultate în urma malaxării în vederea obținerii brichetelor utilizați la alimentarea preselor de extrudat electrozi.

Pasta rezultată în urma operației de omogenizare și malaxare trebuie să fie omogenă, compactă, cu proprietăți plastifiante pentru realizarea parametrilor prescriși la presare.

Presele pe care se realizează brichetarea masei, trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să fie dotate cu aparatură de măsură, verificată metrologic;
- din punct de vedere funcțional, să permită realizarea parametrilor prescriși;

- să nu prezinte urme de material rămas de la brichetările anterioare.

Masa destinată brichetării poate proveni direct din malaxorul în care a fost făcută și din sacii care conțin pasta aflată la macerare (pasta malaxată cu mai mult timp în urmă).

Activitățile la operația de brichetare sunt: pregătirea și curățarea mașinii de brichetat, alimentarea jgheabului cu masă provenită de la malaxare, încărcarea cilindrului presei de brichetat, presarea masei umede (brichetarea propriu-zisă), scoaterea brichetului din presă și acoperirea brichetelor în așteptare cu saci de iută umeziți.

După presarea brichetelor, acestea sunt transportate la prese, în vederea extrudării lor. Brichetarea masei umede se realizează pe preșele de brichetat la o presiune de 20-30 atmosfere.

Dacă în urma operației de brichetare apar brichete nepresate corespunzător, masa din care sunt constituiți brichetele respective va fi introdusă din nou pe flux la operația de malaxare.

Brichetele rezultate trebuie să fie compacte, fără incluziuni de masă uscată sau de altă proveniență și să aibă diametrul exterior mai mic decât diametrul cilindrului presei de extrudat.

6. Presarea (extrudarea)

Presarea - operația de depunere prin extrudare a pastei de înveliș pe vergeaua metalică în vederea obținerii electrozilor de sudură

Extrudare - depunere sub presiune a masei (pastei) de înveliș pe vergeaua metalică

Masa - nume generic acordat amestecului pulverulent destinat acoperirii vergelelor în vederea obținerii electrozilor de sudură

Vergelele trebuie să fie rectilinii, fără onduleuri, bavuri, iar suprafața lor nu trebuie să prezinte exfolieri.

Masa pentru înveliș rezultată în urma operației de malaxare trebuie să fie omogenă, compactă și cu proprietăți plastifiante în vederea obținerii unei extruziuni fără defecte de suprafață și o compactizare uniformă.

Utilajele de extrudat EP 10 (prese cu cilindru) trebuie să fie dotate cu aparatură de control al presiunii de lucru (manometre).

Activitatea de presare a electrozilor de sudură cuprinde următoarele faze:

- curățarea presei;
- transportul brichetelor la prese în cazul preșelor EP 10;

- incarcarea cilindrului de presa cu bricheti;
- montarea duzelor de sarma si a tevilor conducatoare;
- montarea duzelor de masa si a capetelor de presa;
- reglarea alimentatorului cu vergele;
- incarcarea vibratoarelor alimentatoarelor cu vergele;
- pornirea preselor.

Extrudarea se va executa astfel incat electrozii sa aiba o geometrie perfecta cu suprafata neteda fara fisuri longitudinale sau transversale. Perierea si polizarea capatului de amorsare trebuie sa fie perfect circulara si concentrica pe vergea.

Electrozii presati sunt preluati de benzile de transport unde se preleveaza electrozi prin sondaj pentru verificarea centricitatii dupa care acestia trec prin fata dispozitivului de periere, polizare unde se realizeaza polizarea capului de amorsare si perierea capului de prindere in cleste pe o lungime specificata.

Pe banda, electrozii vor fi supusi la o prima operatie de sortare, indepartandu-se electrozii cu deficiente privind aspectul, centricitatea, grafitarea, perierea si polizarea.

7. Preuscarea

Preuscare - operatie premergatoare uscarii/calcinarii prin care se elimina natural o parte din apa din invelisul electrozilor.

Preuscarea se poate face atat in mediul ambiant (evitandu-se insa curentii de aer) cat si in incinte speciale, asa numitele camere de preuscare, in care temperatura trebuie sa fie de minim 15⁰C iar umiditatea relativa , de maximum 50%.

Aceste camere de preuscare sunt dotate cu ventilatoare, avand rolul de a limita timpul de preuscare, in scopul maririi productivitatii tehnologice. Astfel, dupa un anumit interval de timp petrecut in aer linistit, preuscarea electrozilor se va realiza cu ajutorul ventilatoarelor; pornirea acestora trebuie insa facuta doar cand riscul de fisurare datorita curentilor de aer este nul.

In cazul preuscarii in cadrul sectiei de productie este necesar sa se respecte urmatoarele:

- suportii vor fi depozitati in spatiile amenajate pentru preuscare pe loturi de fabricatie si in ordinea numerica a presarii lor;
- suportii cu sensibilitate mare la schimbarea culorii si la fisurare vor fi acoperiti cu o folie protectoare impotriva curentilor de aer.

Preuscarea se va face in aer linistit cu jaluzelele trase (inchise) la usile camerei. Dupa trecerea timpului minim de preuscare in aer linistit se poate face o preuscare fortata prin ventilatie atat in camera cat si in afara ei cu ajutorul ventilatoarelor din incinta camerei sau a ventilatoarelor mobile din afara ei.

Camera de preuscare este dotata cu o instalatie automata de monitorizare si evacuare a umiditatii in exces (peste 50%).

In cazul in care timpul de preuscare in aer linistit depaseste timpul prescris cu minim 24 de ore in conditiile de temperatura si umiditate prescrise electrozii pot fi luati pentru uscare si calcinare fara a se mai face ventilatie fortata.

Dupa expirarea termenului de preuscare fortata ventilatoarele se vor opri obligatoriu inainte de inlocuirea suportilor ventilati cu altii noi fara termen de preuscare in aer linistit. In cazul in care umiditatea relativa este mai mare de 50% se va mari timpul de preuscare cu cel putin 8 ore.

Pentru electrozii preuscati se considera preuscarea acceptata daca pasta nu poate fi indepartata usor de pe vergea si daca electrozii au un sunet usor metalic, caracteristic, la lovirea lor intre ei.

8. Uscarea si calcinarea

Uscarea – operatie tehnologica de eliminare a apei de constitutie din invelisul electrozilor rutilici prin introducerea si mentinerea acestora in cuptoare la o temperatura prescrisa.

Calcinare – operatie tehnologica de eliminare a apei de constitutie din invelisul electrozilor bazici prin introducerea si mentinerea acestora in cuptoare la o temperatura prescrisa.

Suportii cu electrozi se introduc in cuptoare numai dupa expirarea perioadei de preuscare.

Cuptoarele trebuie sa fie inchise etans iar pierderile prin convecție trebuie sa fie minime.

Suportii cu electrozi prelevati de la presele de fabricat electrozi si depozitati in spatiile destinate preuscării dupa expirarea termenului de preuscare sunt transportati la cuptoare pentru uscare si calcinare. La incarcarea electrozilor in cuptoare se va tine seama ca temperatura cuptorului sa nu depaseasca 30 °C in anotimpul rece (iarna) si 40°C in sezonul estival.

La calcinarea electrozilor se va tine seama ca in timpul operatiei pe masura ce gazele de ardere se degaja in timpul procesului, clapeta de evacuare a acestora din cuptor

trebuie sa fie deschisa pana la temperatura de 250°C dupa care se inchide. In acest mod gazele arse nu vor mai afuma electrozii din incinta iar culoarea lor va fi uniforma. La expirarea termenului de mentinere pe palier se deschide usa cuptorului si se lasa cuptorul sa se raceasca. Cand temperatura scade in jurul valorii de 100 de grade, electrozii se scot si se depoziteaza grupat pe sarje si loturi de fabricatie, in spatiul special amenajat pentru racirea electrozilor pana la temperatura mediului ambiant, de unde sunt prelevati pentru verificarile legate de incercarile de sudabilitate, aderenta, aspect etc.

Operatia de uscare sau calcinare (functie de caracterul invelisului) se considera corespunzatoare daca diagrama de calcinare atesta respectarea parametrilor impusi, electrozii au o culoare uniforma, nu prezinta fisuri si au o comportare la sudura buna.

9. Conservarea electrozilor

Conservarea - operatia de pastrare a electrozilor in camera de temperatura si umiditate controlata, dupa ce acestia au fost calcinati. Se aplica in cazul electrozilor bazici (unde umiditatea din invelis trebuie sa fie cat mai redusa , sau celor inoxidabili , foarte susceptibili la porozitate).

Camera de conservare trebuie sa asigure o umiditate de max. 30% si o temperatura de min. 15°C .

Dupa calcinare suportii cu electrozi se scot din cuptoare si se lasa sa se raceasca pana la temperatura mediului ambiant. Imediat cum au ajuns la aceasta temperatura, electrozii se vor lua de pe rame si se vor depozita in containere , containerele cu electrozi fiind transportate imediat in camera de conservare.

In cazul in care electrozii nu pot fi depozitati in camera de conservare din diverse motive (ex: lipsa spatiului disponibil in camera de conservare, temperatura si/sau umiditate necorespunzatoare), se vor ambala imediat dupa racirea acestora pana la temperatura mediului ambiant.

Daca valoarea apei reziduale se incadreaza in limitele prescrise electrozii se vor ambala. În cazul in care valoarea apei reziduale este peste valoarea maxima admisa electrozii aflati in containere se vor reconditiona prin mentinerea timp de 2 ore la 350°C . Dupa aceasta reconditionare se vor preleva electrozi din mijlocul containerului (zona critica) in vederea repetarii analizei pentru determinarea apei reziduale. Daca valoarea apei reziduale se incadreaza in limitele prescrise electrozii se vor ambala. In cazul in care valoarea apei reziduale este peste valoarea maxima admisa electrozii vor fi depozitati in spatiile destinate depozitarii produselor neconforme.

Timpul maxim de depozitare a electrozilor în camera de conservare înainte de ambalarea lor este de 30 zile.

10. Ambalarea

Ambalarea - operația de împachetare a electrozilor în cutii, respectându-se gama sorto-tipo-dimensionala.

Infolierea - operația tehnologică prin care cutiile de electrozi sunt introduse într-o folie termocontractibilă, în vederea protejării electrozilor împotriva umidității.

Paletizarea - operația de aranjare ordonată a produselor finite sau semifinite pe paleti de lemn, sau alte tipuri de suporturi în vederea transportului acestora.

Lotul de fabricație - cantitatea de electrozi de același tip, diametru și lungime, fabricați continuu pe o perioadă de maximum 24 de ore din aceeași sarja de sarmă de elaborare a oțelului, din una sau mai multe sarje de masă cu aceeași rețetă și în aceleași condiții tehnologice (aceleași instalație).

Cu o linie automată de ambalare (LA), electrozii sunt preluați de pe rame, sortați (se înlătură electrozii care prezintă urme de rame, fisuri, deficiențe ale perierii sau polizării, etc.) și așezați în stelaje metalice tip racks, și transportați la liniile automate de ambalare.

Vor fi acceptați numai electrozii ce au fost ambalați corect, respectând strict fazele de lucru ale operației de ambalare.

1.1.3 ASPECTE PRIVIND SUDAREA CUPRULUI ȘI ALIAJELOR SALE

1.1.3.1 Aspecte generale

Cuprul și aliajele sale oferă o combinație unică a proprietăților de rezistență mecanică, plasticitate și rezistență la coroziune.

În general sunt foarte mult utilizate în aplicații care necesită rezistență electrică scăzută, conductivitate termică mare, rezistență sporită la coroziune, rezistență la oboseală combinate cu posibilitățile economice de obținere și prelucrare [23].

Alte aplicații care vizează aliajele de cupru sunt cele în care sunt necesare caracteristici de rezistență la uzură, permeabilitate scăzută și culoare specifică (opere de artă). Cuprul și aliajele sale sunt mult utilizate pentru fabricarea conductoarelor electrice. În starea de puritate ridicată, cuprul prezintă o structură cubică cu fețe centrate și o densitate de 8,968g/cm³.

Conductivitatea electrică a cuprului este doar puțin mai scăzută decât a argintului, fiind totuși de 1,5 ori mai mare decât cea a aluminiului. Conductivitatea electrică standard

de referință pentru materialele ingineresti se atribuie cuprului cu rata de 100% IACS (International Annealed Copper Standard), față de care sunt analizate toate celelalte materiale metalice. Prin prelucrări speciale, unele mărci ale cuprului pot atinge 102% IACS.

Rezistența foarte mare la coroziune în medii precum: apa proaspătă, apa sarată, soluții alcaline determină utilizarea cuprului la fabricarea turbinelor, armăturilor, schimbătoarelor de căldură, echipamentelor chimice si **in constructii navale**.

Cuprul reacționează cu sulful și compuși ai azotului. Soluția de hidroxid de amoniu atacă rapid cuprul și aliajele sale, cauzând forme severe de coroziune.

Multe aliaje ale cuprului sunt utilizate și pentru aplicații care necesită rezistență mare la uzare. Rezistența excelentă a aliajelor de cupru la uzura metal pe metal le asigură utilizarea la fabricarea lagărelor și bușelor de ghidare.

Foarte buna lor maleabilitate și formabilitate precum și aspectul estetic determină utilizarea aliajelor de cupru pentru realizarea aplicațiilor ornamentale (statui), cupolelor, vaselor, vazelor, gravurilor, medaliilor, monedelor etc.

Sudarea cu arcul electric se realizează în cadrul proceselor: sudarea cu electrod învelit, WIG, MAG, cu plasmă, sudarea automată sub strat de flux.

1.1.3.2 Sudabilitatea aliajelor de cupru

a) Efectul elementelor de aliere

Aliajele de cupru conțin diferite elemente de aliere precum aluminiu, nichel, fier, siliciu, staniu, zinc. Pot fi întâlnite și alte elemente de aliere însă în cantități mult mai mici, introduse de regulă pentru a îmbunătăți anumite caracteristici de material, cum ar fi rezistența la coroziune și prelucrabilitatea.

Cuprul și aliajele sale se împart în nouă grupe principale:

1. cupru cu minim 99,3% cupru;
2. aliaje pe bază de cupru cu până la 5% elemente de aliere;
3. cupru-zinc (alame), cu până la 40% zinc;
4. cupru-staniu (bronzuri), cu până la 10% staniu si 0,2% fosfor;
5. cupru-aluminiu (bronzuri cu aluminiu), cu până la 10% aluminiu;
6. cupru-siliciu (bronzuri cu siliciu), cu până la 3% siliciu;
7. cupru-nichel cu până la 30% nichel;
8. cupru-zinc-nichel ("argint de nichel") cu până la 27% zinc si 18% nichel;
9. aliaje speciale, care conțin elemente de aliere pentru creșterea prelucrabilității.

Se cunosc diferite mărci comerciale precum cuprul electrolitic (minim 99.95%Cu), cupru cu beriliu (0.2-2.0% beriliu), Muntz metal (Cu40Zn), alamă navală (Cu-39.25Zn-0.75Sn), bronz comercial (Cu-10Zn).

Sistemul standardizat de identificare la nivel internațional este UNS (Unified Numbering System). În cadrul acestuia, aliajele de cupru au alocate numere de serie precum 1xxxx la 7xxxx (pentru deformare plastică), respectiv 8xxxx și 9xxxx (pentru turnare). Aceeași marcă poate fi însă produsă atât în stare turnată cât și deformată plastic.

În tabelul 2.3 sunt prezentate câteva mărci reprezentative de aliaje de cupru, sudate cu arc electric (sudare cu electrod înveliț, WIG, MAG).

Multe dintre proprietățile fizice ale aliajelor de cupru sunt foarte importante în procesul de sudare, cu precădere temperatura de topire, coeficientul de dilatare termică, conductivitatea electrică și termică.

Așacum se poate vedea din tabelul 2.3 anumite elemente de aliere determină scăderea drastică a conductivității electrice și termice în cazul cuprului și aliajelor sale, ceea ce afectează semnificativ sudabilitatea acestora.

Anumite elemente de aliere prezintă un efect pronunțat asupra sudabilității cuprului și aliajelor sale. Cantități reduse de elemente volatile, toxice, sunt adesea prezente și impun luarea unor măsuri speciale la sudare (sisteme de ventilație pentru protejarea operatorului sudor).

Aluminiul, nichelul și beriliul formează oxizi superficiali tenace care trebuie îndepărtați înainte de sudare. Formarea acestor oxizi în timpul sudării trebuie prevenită prin utilizarea gazelor sau a fluxurilor de protecție, în asociere cu utilizarea unor valori potrivite ale curentului de sudare. Oxizii de nichel interferează cu arcul electric la sudare într-o mai mică măsură comparativ cu cei de aluminiu și beriliu ca urmare, aliajele Ni -Ag și Cu -Ni sunt mai puțin sensibile față de tipul de curent utilizat la sudare.

În aliajele de Cu, beriliul produce fum toxic la sudare.

Zincul reduce sudabilitatea alamelor în funcție de procentul său de participare la formarea aliajului. Acesta prezintă o temperatură de fierbere scăzută, ceea ce face ca la sudare să formeze vapori toxici. Ca urmare, în cazul sudării aliajelor cu zinc este obligatorie ventilarea încăperilor unde se lucrează sau prevederea unor sisteme de exhaustare a fumului la sudare.

Staniul mărește susceptibilitatea față de fisurarea la cald a aliajelor de cupru în timpul sudării, dacă procentul său este cuprins în intervalul 1-10%. Este cazul bronzurilor fosforoase sau al alamelor cu staniu.

Comparativ cu zincul, staniul este mult mai puțin volatil și toxic. În timpul sudării, staniul se oxidează preferențial în raport cu cuprul, rezultatul fiind formarea incluziunilor de oxid care pot reduce rezistența mecanică a cusăturii sudate.

Tabelul 1.3

No UNS	Denumirea aliajului	Comp. chimică nominală, %	Punctul de topire, °C	Conductivitatea termică relativă (a)	Sudabilitatea (b)		
					WIG	MAG	SE
C10200	Cupru fără oxigen	99,95 Cu	1083	100	B	B	NR
C11000	(OFC) Cupru electrolitic (ETP)	99,90 Cu; 0,04O ₂	1083	100	S	S	NR
C12000	Cupru fosforos dezoxidat, low P	99,9 Cu; 0,008P	1083	99	E	E	NR
C12200	Cupru fosforos dezoxidat, high P	99,9 Cu; 0,02 P	1083	87	E	E	NR
C17000	Cu-Be de mare rezistență	98,3 Cu; 1,7 Be	982	27 – 33 (c)	B	B	B
C17200	Cu-Be de mare rezistență	98,1 Cu; 1,9 Be	982	27 – 33 (c)	B	B	B
C17500	Cu-Be de mare conductivitate	96,9 Cu; 0,6 Be; 2,5 Co	1068	53 – 66 (c)	S	S	S
Alame C21000	cu puțin Zn Gilding	95 Cu; 5 Zn	1065	60	B	B	NR
C22000	Bronz comercial	90 Cu; 10Zn	1043	48	B	B	NR
C23000	Alamă Roșie	85 Cu; 15 Zn	1026	41	B	B	NR
C24000	Alamă (low brass)	80 Cu; 20Zn	999	36	B	B	NR
Alame C26000	cu mult Zn Cartrige Brass	70 Cu; 30 Zn	954	31	S	S	NR
C26800	Alamă galbenă	65 Cu; 35Zn	932	30	S	S	NR
C28000	Muntz metal	60 Cu; 40 Zn	904	31	S	S	NR
Alame C44300	cu Sn Admiralty brass	71Cu; 28 Zn; 1 Sn	937	28	S	S	NR
C46400	Alamă navală	(d) 60Cu; 39,25 Zn; 0,75 Sn (d)	899	30	S	S	NR
Alame C67500	Speciale Bronz manganos A	58,5Cu;39Zn; 1,4Fe;1Sn;0,1 Mn	888	27	S	S	NR
C68700	Alamă cu Al, arsenică	77,5Cu;20,5Zn; 2 Al; 0,06 As	971	26	S	S	NR
Ni C74500	Silvers-alame Nickel silver	65Cu;25Zn;10Ni	1021	12	S	S	NR
C75200	Nickel silver	65Cu;17Zn;18Ni	1110	8	S	S	NR
C75400	Nickel silver	65Cu;20Zn;15Ni	1076	9	S	S	NR
C75700	Nickel silver	65Cu;23Zn;12Ni	1037	10	S	S	NR
C77000	Nickel silver	55Cu;27Zn;18Ni	1054	8	S	S	NR
Bronzuri C50500	cu P Bronz fosforos, 1,25%E (0,2P)	98,7Cu; 1,3Sn	1076	53	B	B	S
C51000	Bronz fosforos, 5%A	95Cu;5Sn (0,2P)	1049	18	B	B	S
C52100	Bronz fosforos, 8%C	92Cu;8Sn (0,2P)	1026	16	B	B	S
C52400	Bronz fosforos, 10%D	90Cu;10Sn(0,2P)	9998	13	B	B	S
Bronzuri C61300	cu Al Bronz cu Al		1046	14	B	E	B
C61400	D, stabilizat cu Sn	89Cu;7Al;3,5Fe;(0,35)	1046	17	B	E	B
C63000	Bronz cu Al, E	91Cu;6-8Al;1,5-3,5 Fe; 1max Mn 83Cu;10Al;5Ni;3,5	1054	10	B	B	B

		Fe;					
Bronzuri	cu Si						
C65100	Bronz cu puțin Si, B	98,5Cu; 15 Si	1060	15	E	E	S
C65500	Bronz cu mult Si, A	97Cu; 3 Si	1026	9	E	E	S
Aliaje	Cu-Ni						
C70600	Cu-Ni	88,6Cu; 9-11Ni; 1,4Fe; 1,0Mn	1149	12	E	E	B
C71500	Cu-Ni	70Cu; 30 Ni;	1238	8	E	E	E

Si aduce un efect benefic la sudarea aliajelor de cupru deoarece participă la procesele de dezoxidare. Combinația dintre acest efect și cel de scădere a coeficientului de transfer termic face acest tip de aliaj cel mai bine sudabil din clasa aliajelor de cupru, pentru orice procedeu de sudare cu arc electric.

P este benefic în anumite aliaje de Cu, datorită creșterii rezistenței mecanice și efectului dezoxidant. Adăugarea sa în aliajele de Cupru de tip alamă determină reducerea efectelor corozive prin scăderea procentului de Zn. În aliajele de cupru, la concentrații normale, fosforul nu afectează procesul de sudare.

Cr, ca și Be sau Al, determină formarea unui oxid refractar la suprafața băii topite. Arcul electric trebuie amorsat în atmosferă gazoasă protectivă inertă, pentru a permite evitarea formării peliculei de oxid.

Cadmiul, nu prezintă efecte importante asupra sudabilității aliajelor de Cu. Totuși, temperatura scăzută de fierbere a acestuia determină apariția vaporizării la sudare, ceea ce dăunează sănătății operatorului sudor. Cd formează un strat de oxid pe suprafața băii topite, care însă poate fi ușor redus prin acțiunea fluxurilor.

Oxigenul cauzează porozitate și reduce rezistența sudurii în cazul aliajelor de cupru cu conținuturi reduse de P sau alți dezoxidanți. Acesta poate proveni din gazele de protecție, mediu sau oxizii cuproși de pe suprafețele de sudat. Aliajele uzuale de Cu conțin de regulă elemente de dezoxidare, precum: P, Si, Al, Fe, Mn.

Aceste elemente se combină rapid cu O₂ și elimină riscul de formare a porilor. Astfel de dezoxidanți sunt introduși și în materialele de adaos. Soliditatea și rezistența structurilor sudate cu arcul electric realizate din aliaje de cupru comerciale depind de conținutul de oxid cupros.

Dacă acest conținut este scăzut, rezistența cusăturii crește.

Aliajele de Cu dezoxidate prezintă rezultatele cele mai bune la sudare, deoarece au puțin oxid și au conținuturi reziduale scăzute de P.

Fe și Mn nu afectează semnificativ sudabilitatea aliajelor de Cu. Fe este de regulă întâlnit în anumite alame, bronzuri cu Al sau aliaje Cu-Ni, în cantități cuprinse între 1,4 și 3,5%.

Mn este prezent în aliaje similare cu cele în care se găsește și Fe, dar la concentrații mai reduse decât acesta.

Alte elemente, precum Pb, seleniu, telur sau sulf se adaugă în aliajele de Cu pentru îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere. Bismutul a început să fie utilizat în acest scop, în aliajele fără Pb.

Aceste elemente de aliere, deși introduse în concentrații foarte mici, pot afecta sudabilitatea aliajelor de cupru, măbind susceptibilitatea față de fisurarea la cald.

Aceste efecte dăunătoare se manifestă la conținuturi ce depășesc 0,05%, fiind severe pentru concentrații mai mari.

În acest sens, Pb este cel mai dăunător element de aliere. De aceea, aliajele care conțin (0,5-4)% Pb nu sunt sudabile .

Aliaje pe bază de Cu pentru depuneri dure se aleg de regulă din familia bronzurilor cu Al. Exemplu EcuAIB (Cu-9Al-4Fe-1Si) și EcuAl-D (Cu-13,5Al-4Fe).

Bronzurile cu Si pot fi de asemenea utilizate pentru realizarea materialelor consumabile la sudare în vederea încărcării dure.

Al, Si și Fe se adaugă în bronzuri pentru consolidarea soluției solide și, prin depășirea limitelor de solubilitate (aproximativ 8% în cazul Aluminiului) pentru durificarea prin precipitare.

Testele de uzură au arătat că bronzurile cu Al posedă caracteristici antifricțiune comparabile cu cele de tip ER-CoCrE.

Rezistența la abraziunea sub sarcină a componentelor din aliaj Al-Cu este însă destul de scăzută. Componentele care se realizează din aliaje de Cu-Al sunt: came, angrenaje, lagăre, matrițe pentru prelucrarea la rece. Aceste aliaje nu se recomandă pentru lucrul la temperaturi ridicate, deoarece caracteristicile de rezistență scad considerabil peste 200°C.

b) Factori care afectează sudabilitatea

În afară de efectul elementelor de aliere, alți factori precum: conductivitatea termică, gazul de protecție, tipul curentului de sudare, proiectarea constructivă a îmbinării, poziția de sudare sau modul de pregătire a suprafețelor influențează hotărâtor sudabilitatea aliajelor de cupru.

b1) Conductivitatea termică

Acest factor influențează foarte mult comportarea la sudare a aliajelor de cupru. Comparativ cu valoarea de referință corespunzătoare aliajului C10200 sau C11000, pe scala de 100, pentru alte aliaje valorile conductivității scad la 8 sau 9, ceea ce este chiar mai puțin decât în cazul oțelului carbon care are 13, pe această scală convențională.

La sudarea mărcilor comerciale de cupru sau a aliajelor care conțin cupru, caracterizate prin valori ridicate ale conductivității termice, valoarea și tipul curentului și a gazului de protecție trebuie astfel alese încât să asigure o energie liniară maximă în îmbinare, care să compenseze pierderile prin conducție.

În funcție de secțiunea de sudat, se poate prescrie preîncălzire pentru aliajele de cupru cu conductivitatea termică scăzută. Temperatura între treceri trebuie să fie similară cu cea corespunzătoare preîncălzirii. Aliajele de cupru nu se tratează termic după sudare, frecvent, așa cum este cazul oțelurilor, dar există unele tipuri de aliaje care necesită controlarea vitezei de răcire pentru minimizarea efectelor tensiunilor reziduale sau deformațiilor.

b2) Poziția de sudare

Datorită fluidității mari a cuprului și aliajelor sale se recomandă sudarea în poziție orizontală ori de câte ori este posibil. Această poziție de sudare este aplicabilă pentru îmbinările de colț, cap la cap sau în T. Pozițiile de sudare în plan vertical sau peste cap sunt de regulă evitate, mai ales pentru procedeele WIG, MIG și cu plasmă, în cazul aliajelor puțin conductive (bronzuri cu aluminiu, siliciu sau aliaje Cu-Ni).

La sudare se utilizează diametre ale electrozilor cât mai reduse în combinație cu valori scăzute ale curentului, mai ales în cazul pozițiilor dificile și cu accesibilitate redusă. Pentru a asigura un control eficient al fluidității băii topite, în cazul procedeelor MIG, WIG și plasmă se recomandă utilizarea curentului pulsant. La sudarea manuală cu electrozi înveliți se recomandă evitarea pozițiilor de sudare dificile, mai ales în cazul bronzurilor cu aluminiu și a aliajelor Cu-Ni, în timp ce unele bronzuri fosforoase sau cu siliciu se pot suda cu bune rezultate.

Măsurile speciale la sudare sunt necesare în cazul unor aliaje durificabile prin precipitare, datorită tendințelor de oxidare sau topire incompletă. Cele mai importante reacții de precipitare au loc în aliajele de cupru care conțin beriliu, crom, bor, nichel, siliciu și zirconiu. Ori de câte ori este posibil, astfel de aliaje trebuie sudate în stare recoaptă, urmând ca tratamentul termic pentru durificarea prin precipitare să se aplice ulterior.

c) Fisurarea la cald

Aliajele de cupru precum Cu-Sn și Cu-Ni manifestă o accentuată susceptibilitate față de fisurarea la cald, la nivelul temperaturilor de solidificare. Această caracteristică este prezentă la toate aliajele de cupru cu un domeniu larg de temperatură cuprins între liniile lichidus și solidus. Efectele de bridare severe duc la separări interdendritice în procesul de solidificare a metalului, producând micro-fisuri.

Fisurarea la cald poate fi diminuată prin reducerea tensiunilor interne la sudare, preîncălzire pentru reducerea vitezelor de răcire și proiectarea constructivă adecvată (rosturi simetrice, bridare scazută, reducerea deschiderii rostului, rădăcina executată din mai multe treceri).

d) Porozitatea

Anumite elemente, ca de exemplu Zn, Cd și P prezintă puncte de topire scăzute. Ca urmare, vaporizarea acestora în timpul sudării poate determina apariția porilor.

Tendința de formare a porilor poate fi redusă prin aplicarea unor viteze de sudare mai mari și alegerea unor materiale de adaos cu conținut scăzut în astfel de elemente.

e) Condițiile de suprafață

Grăsimea și oxizii prezenți pe suprafața componentelor de sudat trebuie îndepărtate înainte de sudare, utilizând metode mecanice (perii de sârma, polizoare) sau chimice (fluxuri decapante).

Impuritățile de pe suprafețe, în cazul bronzurilor cu aluminiu și siliciu trebuie îndepărtate pe distanțe de minim 13 mm de o parte și de alta a rostului, de regulă prin metode mecanice. Grăsimea, vopseaua, trasajul cu markere, murdăria sau alte impurități pot determina, în cazul aliajelor Cu-Ni, apariția fragilizării la sudare. Acestea trebuie îndepărtate prin metode combinate, mecanice (polizare) și chimice, deoarece doar perierea nu este eficientă.

1.1.4 PARTICULARITĂȚILE DEPUNERII DE BRONZURI PRIN SUDARE ELECTRICA

La trecerea metalului topit prin spațiul arcului electric, acesta este influențat de procese complexe de evaporare, ardere, absorbție de gaze etc.

1.1.4.1 Pierdere prin evaporare a elementelor de aliere [4]

La sudare, metalul vine întotdeauna în contact cu mediul înconjurător. Acesta poate fi, fie fază gazoasă (aer, gaze de protecție, amestec de gaze și vapori), fie topitură

de zguri (diferiți acizi, halogenuri, amestecuri ale acestora), fie și gaze și zguri. În procesul de sudare are loc interacțiunea metalului, mai ales a celui încălzit peste temperatura de topire, cu aceste gaze și zguri. O asemenea interacțiune poate fi utilă pentru metal, dar în cele mai multe cazuri îi dăunează compoziției și proprietăților. De aceea trebuie neapărat să se țină cont de interacțiunea metalului cu gaze și zguri la sudare și pe cât posibil să se regleze în direcție dorită.

Modificarea compoziției metalului în condițiile de sudare este determinată în primul rând de evaporare datorită temperaturii ridicate de supraîncălzire a metalului lichid și în al doilea rând de reacțiile în volum cu gazele și zgurile, parțial procese de oxidare. În afară de acesta, este posibilă și o simplă dizolvare fizică în metal a elementelor.

Se știe că metalul în stare topită se evaporă parțial și are în jurul lui o suprafață de vapori a căror presiune tinde spre echilibru, denumită tensiune saturată de vapori la temperatură determinată.

Presiunea de echilibru a vaporilor în funcție de temperatură poate fi evaluată după formula lui Clapeyron-Clausius:

$$\text{Log} \cdot p = \frac{\Delta H}{4,575T} + B$$

unde: p – presiunea de vapori deasupra metalului lichid;

ΔH – căldura de evaporare;

T – temperatura absolută;

B – constanta depinzând de proprietățile metalului și de unitatea de măsură a presiunii;

În tabelul 1.4 se prezintă comparativ aceste valori pentru câteva elemente de aliere.

Tabelul 1.4

Mărime comparată	Al	Ni	Fe	Cr	Cu	Mg	Mn
Căldura de evaporare, cal/mol	61020		84620	76630	72800	32520	55180
Constanta, B	5,727		6,144	6,075	5,552	5,81	4,975
Temperatura de fierbere, K	2773		3023	2703	2863	1376	2423

Practic, la sudare, în majoritatea cazurilor se topesc nu metale pure, ci aliaje. În aceste cazuri vaporii se prezintă sub formă de amestec de vapori a componentelor aliajelor, din care acuză elementele care fierb cel mai ușor au o presiune relativ mare a vaporilor. Pentru soluții diluate (aliaj de fier cu conținuturi relativ mici de elemente de aliere) presiunea de vapori la suprafața lichidului se poate calcula după legea lui Raul:

$$p_a = p_a^0 N_a$$

unde: p_a – presiunea de vapori a lichidului în soluție

p_a^0 – presiunea de vapori a lichidului pur

N_a – fracția molară a lichidului în soluție

Presiunea vaporilor de fier și mangan pe aliaje de 0,95 părți molare de Fe și 0,05 părți molare de Mn calculate separat, este prezentată în figura 1.6 prin punct – linie, iar presiunea totală a vaporilor ca sumă a presiunii parțiale prin linie întreruptă.

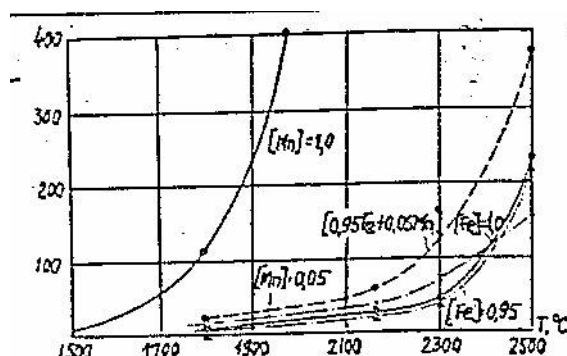


Fig. 1.6

Rezultă că intervalul temperaturilor de sudare, în prezența în aliaj a numai 5% Mn, presiunea vaporilor lui este ceva mai mare decât presiunea vaporilor a 95% Fe, iar presiunea totală a vaporilor este de 2-3 ori mai mare decât presiunea vaporilor deasupra fierului pur. Este deosebit de vizibilă creșterea presiunii elementelor care fierb ușor, manganul fiind un exemplu.

Exemple pentru evaporarea selectivă a elementelor care fierb mai ușor sunt prezentate în tabelul 1.5.

Tabelul 1.5

Elementul	Compoziția chimică %		
	În electrod	În metalul depus	În vaporii captați
Fe	---	---	96,76
Mn	1,5	0,39	2,33
Si	0,53	0,14	0,91

Se constată că, întrucât manganul și siliciul se evaporă mai ușor decât fierul, conținutul lor în vaporii este mai mare decât în metalul electrodului (2,33 și 1,5%).

Cercetările efectuate [4] au arătat că metalul care se evaporă reprezintă 3-6% din masa electrodului care se topește.

Din aceste motive, în procesele de sudare, mai ales la sudarea cu electrozi fuzibili, evaporarea metalului are importanță mare și trebuie să se țină seama de ea în cazul când se are în vedere o modificare posibilă a compoziției metalului, prin sudare.

1.1.4.2 Pierdere prin oxidare a elementelor de aliere

Al doilea tip de procese care însoțesc sudarea, sunt procesele de interacțiune chimică a metalului cu gazele și zgura care vin în contact cu metalul topit. Dintre aceste reacții cele mai importante sunt cele de oxido-reducere.

Prezența oxigenului în zona arcului de sudare poate fi cauzată de:

- disocierea gazelor ce conțin oxigen;
- descompunerea materiilor prime și a apei de constituție care intră în componența învelișului;
- disocierea oxizilor;
- reacțiile de schimb ale metalului cu oxizii altor elemente;
- dizolvarea oxizilor.

Reacția de disociere a oxigenului liber se caracterizează prin următoarea constantă de echilibru:

$$K = \frac{4\alpha^2}{1 - \alpha^2} p_o$$

unde: α - gradul de disociere;

p_o – presiunea totală a gazului.

În tabelul 1.6 se dau valorile constantei de echilibru a reacției de disociere a oxigenului, precum și gradul de disociere pentru diferite temperaturi.

Tabelul 1.6

Mărime	Temperatura °C						
	1000	2000	2600	2800	3000	4000	5000
Log K	-19,48	-6,30	-3,23	-2,50	-1,86	+0,38	+1,715
α	--	$3,55 \cdot 10^{-4}$	$4,58 \cdot 10^{-3}$	$5,84 \cdot 10^{-2}$	0,11	0,61	0,96

Rezultă că la 5000°C, oxigenul este complet disociat.

1.1.4.3 Surse de oxigen din învelișul electrozilor

În timpul sudării manuale cu electrozi înveliți, gazele sunt generate prin descompunerea compușilor prezenți în învelișul electrozilor. În cazul electrozilor cu înveliș

bazic, descompunerea cabonatului de calciu duce la formarea CO_2 care în continuare la temperatura arcului electric, disociază cu formare de oxigen și monoxid de carbon.



Aceasta este o reacție omogenă la care participă trei faze : CO_2 , CO și O_2 . Regula fazelor arată că sistemul are trei grade de libertate ($\nu = 2+2-1$), ceea ce înseamnă că dacă se cunosc trei din cei cinci factori care caracterizează sistemul (temperatura T , presiunea totală P și cele 3 presiuni parțiale P_{CO} , P_{O_2} , P_{CO_2}) ceilalți 2 se determină cu relațiile:

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{CO}} + P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}_2}$$

În diagrama din figura 1.7 , se prezintă variația gradului de disociere a CO_2 în funcție de temperatură și la diferite presiuni parțiale. Conform principiului lui Le Chatelier, creșterea temperaturii favorizează disocierea CO_2 în CO și O_2 , în timp ce creșterea presiunii împiedică acest proces, deoarece determină deplasarea echilibrului reacției în sensul micșorării volumului sistemului, adică în sensul formării CO_2 (în paranteză spus, la sudarea prin procedeul MAG în mediu de CO_2 , suntem în cazul al doilea de mărire a P_{CO})

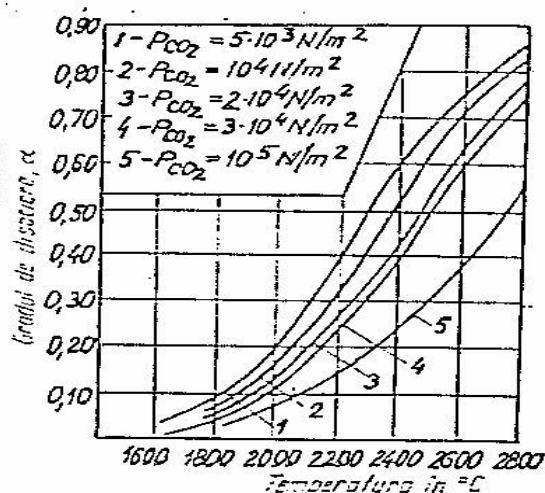


Fig. 1.7 Variația gradului de disociere a CO_2 cu temperatura și presiunea parțială a CO_2

După cum se vede figura 1.7, creșterea temperaturii la presiunea normală duce la mărirea % CO și micșorarea % CO_2 .

Concentrațiile relativ ridicate de CO și CO_2 în atmosfera arcului la sudare cu electrozi bazici, prin reacțiile la care iau parte, conduc la absorbția carbonului și oxigenului în baia metalică la temperaturi ridicate. [5, 6].

Conținutul de oxigen cauzat de învelișul electrozilor depinde desigur de caracterul învelișului, așa cum se arată în tabelul 1.7.

Tabelul 1.7

T K	ΔG		K_p
	J	Cal	
1500	-91 211	-22 502	$1,903 \cdot 10^3$
2000	-183 118	-43 737	$6,026 \cdot 10^4$

Se constată avantajul utilizării electrozilor cu înveliș bazic care introduc în spațiul arcului cea mai mică cantitate de oxigen (tabelul 1.8).

Învelișurile oxidante și acide au componente cu apă legate chimic, care la temperaturile înalte din arc disociază după reacțiile:



Tabelul 1.8

Caracterul învelișului	Conținutul de oxigen %
Oxidant (amestec de oxizi)	0,20
Acid cu elemente reducătoare (sistemul $SiO_2 - FeO - MnO$)	0,05 --- 0,10
Rutilic	0,05---0,10
Bazic	< 0,05

Tabelul 1.9

Electrodul	C %	Mn%	Si %	S %	P %
R1(fără MgO)	0,053	0,03	0,016	0,010	0,017
OX1(cu MgO)	0,042	0,02	0,02	0,008	0,014

1.1.4.4 Actiunea gazelor asupra cuprului si aliajelor sale

Cuprul și aliajele sale, în procesul elaborării și turnării au o acțiune activă cu gazele din atmosfera cuptorului. După natura lor gazele pot fi împărțite în trei grupe:

1. Gaze biatomice: H_2 , N_2 , O_2 etc.
2. Gaze oxidante: H_2O , SO_2 , CO_2 , CO , SO_3 etc.
3. Diferite combinații gazoase: C_nH_m , NH_3 , H_2S , PH_3 etc.

Gazele din prima grupă se întâlnesc în aproape toate procesele de elaborare și turnare, cu excepția celor care se desfășoară în atmosferă inertă sau în vid.

Gazele din grupa a doua și a treia, apar în atmosfera agregatelor ca produse de ardere sau sunt introduse cu materialele care compun încărcătura. De asemenea, unele dintre ele pot să se găsească în cantități extrem de mici în atmosfera mediului ambiant.

Gazele prezente în cupru și în aliajele sale formează combinații chimice (oxizi, hidruri, nitruri) soluții solide sau pot constitui incluziuni sub formă de bule în suspensie, apărute mai ales în timpul solidificării.

Combinațiile chimice care se formează, de regulă se distribuie la marginea grăunților, întrerup legătura între ei și provoacă micșorarea rezistenței și a plasticității materialului metalic. De altfel, combinațiile chimice ale gazelor cu cuprul și cu celelalte elemente de aliere, constituie sursa de bază a impurificării topiturii cu incluziuni nemetalice.

Din punct de vedere teoretic, acțiunea metalelor și aliajelor cu gazele se bazează pe următoarele procese: adsorbția, difuzia și dizolvarea.

a. Adsorbția.

Adsorbția este procesul care are loc la suprafața de separare metal – gaz, când moleculele gazoase din atmosfera înconjurătoare sunt atrase la suprafața metalului sau aliajului. De regulă, stratul de gaz adsorbit are o grosime de ordinul diametrului molecular.

La suprafața metalului solid sau lichid există un puternic câmp de atracție pentru moleculele gazoase. Cu cât acest câmp este mai puternic, cu atât capacitatea metalului de adsorbție este mai mare.

Gradul de adsorbție depinde de echilibrul dintre viteza de volatilizare și condensare și de intervalul de timp în care se mențin acestea. Prin mărirea câmpului de atracție, viteza de volatilizare devine foarte mică și suprafața aproape în întregime se acoperă cu molecule de gaz adsorbite.

a.1. Adsorbția fizică. Cazul cel mai simplu de adsorbție este adsorbția fizică când gazele care se adsorb se volatilizează sub formă de molecule având ca rezultat forțele Van – der – Waals.

Adsorbția fizică se desfășoară numai la temperaturi sub 0°C și ca atare ea nu joacă un rol important în procesele de elaborare a aliajelor neferoase.

a.2. Adsorbția activată. La temperaturi mai mari de 0°C, la o serie de metale se observă fenomenul de adsorbție a gazelor. Adsorbția are un caracter bine determinat și se desfășoară numai pentru unele sisteme metal – gaz.

Din cercetările efectuate s-a constatat că gazele inerte nu se adsorb în metale la temperaturi mai mari de -78°C . Aurul și argintul adsorb hidrogenul la temperaturi mai mici de 0°C , iar cuprul adsoarbe azotul numai la temperaturi sub 20°C .

Adsorbția activată se caracterizează prin:

- a) Caracterul bine determinat fiind limitat la câteva sisteme metal – gaz;
- b) Se desfășoară numai la temperaturi mai mari de 0°C ;
- c) Procesul nu este reversibil;
- d) Valoarea ridicată a energiei arată că rezultatele adsorbției activate nu constau numai în concentrarea moleculelor de gaz la suprafața metalului, ci și în desfășurarea procesului de disociere a gazului în atomi. Atomii de gaz formați pot să reacționeze cu atomii de metal nemijlocit, pe suprafața acestuia.

b. Difuzia.

Procesul de pătrundere a gazului în structura metalului poartă denumirea de difuzie. Procesul de difuzie se poate pune ușor în evidență. De exemplu, dacă se cufundă o bară de nichel în acid sulfuric, după câteva ore se constată prezența hidrogenului în metal. Folosind această bară de nichel în calitate de catod la hidroliză, se mărește brusc viteza de difuzie.

Analizând metalele în funcție de activitatea lor chimică cu gazele, se poate aprecia aproximativ, capacitatea gazului dat de a difuza în metalul considerat. De exemplu, gazele inerte nu difuzează în metale. Azotul difuzează în fier și mangan cu care formează nitruri, dar nu difuzează în nichel, cupru și argint, cu care nu formează combinații chimice.

Difuzia este influențată de numeroși factori, dintre care cei mai importanți sunt: concentrația și presiunea parțială a gazului, grosimea stratului de metal și temperatura sa etc.

O mare influență asupra coeficientului de difuzie o manifestă metalul și proprietățile fizice și chimice ale suprafeței lui. De asemenea, coeficientul de difuzie se mărește mult cu ridicarea temperaturii.

c. Solubilitatea gazelor în metale și aliaje.

Solubilitatea gazelor în metale este o consecință a procesului de difuzie și este influențată de proprietățile fizico – chimice ale metalului, cu care gazele pot forma combinații chimice sau soluții solide.

Este necesar să cunoaștem compoziția chimică a metalului sau aliajului deoarece gradul de afinitate a gazelor se stabilește funcție de proprietățile acestora.

Pe măsură ce proprietățile metalice scad, metalele manifestă o afinitate mai mică față de gaze. Cu cât proprietățile de metaloid sunt mai coborâte, cu atât metalele și aliajele capătă o afinitate mai mare față de gaze.

De exemplu, formarea oxizilor se desfășoară cu degajarea unei cantități mari de căldură, formarea nitrurilor depinde de activitatea metalului cu azotul și, de regulă, reacția de nitrurare este o reacție endotermă; combinarea hidrogenului cu multe metale este de asemenea, un proces endoterm.

Factorii care influențează solubilitatea gazelor în metale și aliaje sunt: natura chimică a gazului și metalului, temperatura procesului și presiunea parțială a gazului.

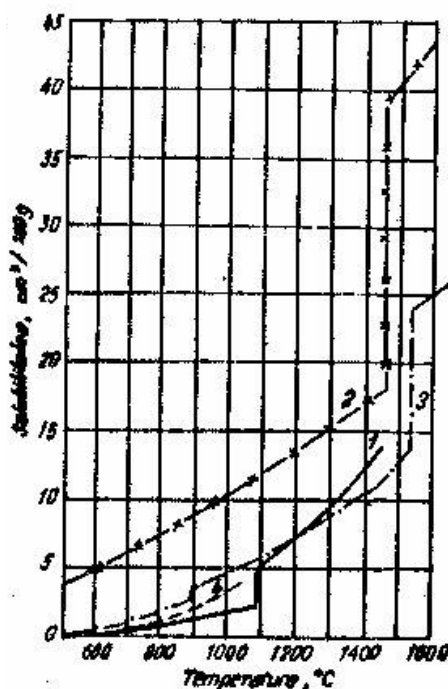


Fig. 1.8 Solubilitatea gazelor în metale în funcție de temperatura

1- cupru, 2- nichel ,3- fier, 4- aluminiu

Cantitatea de gaze în metale și aliaje poate să varieze, funcție de compoziția și structura acestora. În general, se poate aprecia că solubilitatea gazelor crește cu creșterea presiunii lor parțiale, cu mărirea temperaturii până în apropiere de punctul de fierbere și scade în prezența majorității elementelor de aliere și a impurităților (fig. 1.8).

La micșorarea temperaturii, gazele prezente se elimină datorită micșorării solubilității lor și pot manifesta o influență distrugătoare asupra procesului de cristalizare a metalului sau aliajului.

Dacă reanalizăm procesul interacțiunii metalelor cu gazele, devine evident că au loc fenomene chimice, deși nu în toate cazurile pot să se formeze substanțe noi. Se apreciază că adsorbția, difuzia și solubilitatea sunt stadii premergătoare interacțiunii chimice a metalelor cu gazele. După cum se știe, numai gazele care interacționează chimic cu metalele (aliajele) posedă capacitatea de a activa adsorbția, iar gazele care activează difuzia sunt capabile să difuzeze și să se dizolve în metale (aliaje).

Pentru a evita interacțiunea metalului cu gazele, trebuie să împiedicăm solubilizarea lor, la limita de separație metal – atmosferă, deoarece ulterior apare necesitatea eliminării incluziunilor nemetalice formate în urma dizolvării gazelor care provoacă schimbări esențiale ale proprietăților materialelor metalice elaborate.

d. Reacțiile cuprului și ale aliajelor sale cu gazele oxidante din atmosfera cuptorului.

La încălzirea în mediu de oxigen sau aer, cuprul solid se oxidează la suprafață formând o peliculă de oxid compusă din oxid cupros, oxid cupric sau o soluție a celor doi oxizi, funcție de temperatură, presiune și concentrația în oxigen.

La încălzirea cuprului în atmosferă obișnuită, cu un debit suficient de aer proaspăt, acesta se acoperă treptat cu o peliculă de oxid. Nu se observă difuzia oxidului cupros în cupru.

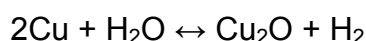
În cazul încălzirii cuprului într-o atmosferă slab oxidantă, viteza de formare a peliculei de oxid la creșterea temperaturii se micșorează și se observă difuzarea compusului format în interiorul metalului. Acest fenomen se explică prin diferențele care se stabilesc între vitezele de formare a oxidului cupros pe suprafața metalului și de difuzie a acestuia în interiorul cuprului.

Pe bază experimentală, s-a constatat că oxidarea cuprului topit se desfășoară după legi asemănătoare oxidării cuprului solid. La început are loc o absorbție mai rapidă a oxigenului din aer, dar pe măsura dizolvării oxidului cupros în metal, absorbția se micșorează.

Saturarea metalului cu oxigen, în timpul încălzirii, poate influența defavorabil calitatea aliajului, dacă în cuptor se află metale reducătoare, cum sunt: aluminiul, staniul, siliciul, zincul etc., care reacționează cu oxidul cupros formând oxizi solizi.

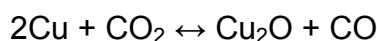
În atmosferă de vapori de apă și bioxid de carbon, cuprul este inert față de aceste gaze putându-se considera că atmosfera de apă și bioxid de carbon este practic neutră pentru cuprul solid.

Cuprul topit acționează însă cu vaporii de apă, având la bază reacția:



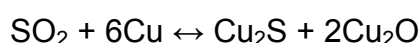
Deoarece tensiunea de disociere a oxidului cupros este mult mai mică la temperatura de elaborare decât tensiunea de disociere a vaporilor de apă, pentru ca reacția să decurgă de la stanga la dreapta este necesar să se îndepărteze produsele de reacție, în special hidrogenul. Această îndepărtare prezintă dificultăți importante din cauza că hidrogenul se dizolvă în metalul topit.

Reacția dintre cuprul topit și CO_2 este asemănătoare reacției dintre cupru și vaporii de apă. Diferența dintre tensiunile de disociere a oxidului cupros și cea a bioxidului de carbon este ceva mai mică decât cea dintre tensiunea de disociere a oxidului cupros și vaporii de apă. Ca urmare, oxidarea cuprului de către bioxidul de carbon este posibilă după reacția:



În condițiile industriale de elaborare, nici această reacție nu se produce în măsură însemnată și, ca atare, bioxidul de carbon poate fi considerat ca un gaz neutru pentru topitura de cupru.

În atmosferă de SO_2 , cuprul reacționează cu formarea oxidului și sulfurii conform reacției:



care este reversibilă și viteza de desfășurare a ei este funcție de concentrație, temperatură și presiune.

Având în vedere faptul că la temperatura de elaborare a cuprului reacția se desfășoară de la stanga la dreapta, rezultă că atmosfera de SO_2 nu este indicată, ea putând conduce la formarea sulfurilor în topitură, care provoacă fragilitatea la roșu a materialului metalic solidificat.

Oxidarea aliajelor în timp se caracterizează printr-o viteză mare la început, care se micșorează treptat, pe măsură ce crește grosimea peliculei de oxid de la suprafața metalului (fig. 1.9).

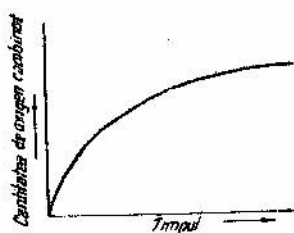


Fig. 1.9 Variația vitezei de oxidare a cuprului și aliajelor sale în funcție de durată

Coeficientul de difuzie a oxigenului prin pelicula de oxid, depinde de compactitatea acesteia, care la rândul ei este dependentă de tensiunea de vapori a componentilor și de raportul volumului oxizilor formați față de volumul metalelor.

Din acest punct de vedere, se apreciază că în cazul cuprului și aliajelor sale, peliculele oxizilor de aluminiu, beriliu etc., protejează metalul solid împotriva oxidării, iar peliculele oxizilor de magneziu, zinc etc., au o acțiune contrară. Peliculele oxizilor de mangan și siliciu ocupă un loc intermediar.

Adăugarea de 0,25% Al în alamă coboară oxidabilitatea la mai puțin de jumătate (fig. 1.10), iar un procent de 2% Al micșorează oxidabilitatea acestor aliaje aproape de 35 de ori.

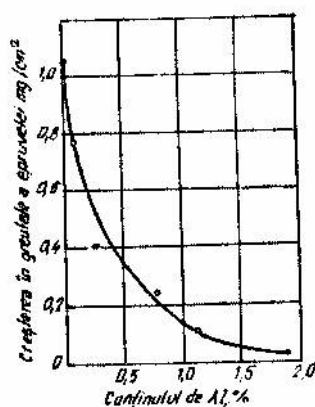


Fig. 1.10 Variația vitezei de oxidare a alamei, funcție de adaosul de aluminiu

Oxidarea aliajelor topite, decurge selectiv, în funcție de tensiunea de disociere a oxizilor la temperatura și presiunea dată; vor fi prezenți cu precădere acei oxizi a căror tensiune de disociere este mai mică.

Dacă la contactul direct al particulelor de metal de la suprafața băii, are loc oxidarea cuprului, în momentul următor oxidul cupros va ceda oxigenul componentilor aliajului ai căror oxizi au o tensiune de disociere mai mică decât Cu_2O (Al, Si, Mn, Sn, Be etc.).

Majoritatea oxizilor formați la contactul atmosferei cu baia rămân la suprafață, deoarece sunt insolubili în metal și au o greutate specifică mai mică. Trebuie subliniat în mod special, că acest lucru se întâmplă numai la oxidarea băii la acțiunea directă între metal și atmosferă. În alte cazuri, este posibilă formarea oxizilor solizi, care rămân în metalul topit în stare de suspensie, provocând adesea defecte caracteristice în aliajele turnate.

Pentru majoritatea aliajelor de cupru în stare lichidă, vaporii de apă și bioxidul de carbon sunt oxidanți. Aceste gaze reacționează cu elementele de aliere, punând în libertate hidrogenul (care se poate dizolva în aliaj) sau oxidul de carbon.

e. Reacțiile cuprului și aliajelor sale cu gazele reducătoare din atmosfera arcului electric.

Cuprul solid, fără oxid cupros, absoarbe la încălzirea în atmosferă de hidrogen o anumită cantitate din acest gaz. La topire, hidrogenul nu prezintă greutăți deosebite, deoarece solubilitatea lui în cuprul solid este relativ mică.

Prin experiențe, s-a demonstrat că solubilitatea hidrogenului în cupru, la temperatura de topire este de trei ori mai mare decât în cuprul solid.

Datele practice arată că acțiunea hidrogenului asupra cuprului, în domeniul de temperatură 1100 - 1180°C conduce în final la apariția suflurilor, în orice condiții de turnare. Așa cum se știe, solubilitatea hidrogenului în cupru este proporțională cu rădăcina pătrată a presiunii, ceea ce arată că acest gaz se dizolvă în stare atomică și deci poate să fie eliminat din metal prin crearea vidului.

Hidrogenul acționează asupra cuprului oxidat, îl reduce energic și provoacă apariția suflurilor în produsele turnate.

Comparând reducerea cuprului oxidat cu hidrogen și oxid de carbon, se pot enunța următoarele concluzii:

- a) la solidificarea cuprului oxidat în atmosferă de hidrogen, în produsele turnate apar sufluri, pe când în atmosferă de oxid de carbon fenomenul este diminuat;
- b) viteza de reducere cu hidrogen a cuprului oxidat este de două ori mai mare decât viteza de reducere a acestuia cu oxid de carbon;
- c) dacă oxidul cupros a fost complet îndepărtat și nu a avut loc saturarea cu hidrogen, produsele turnate în atmosferă de hidrogen, la fel cu cele din atmosferă de oxid de carbon sunt compacte.

Hidrogenul se dizolvă în toate aliajele examinate. Solubilitatea lui în aliajele în stare lichidă este mai mare decât în aliajele în stare solidă. Din această cauză, hidrogenul dizolvat se degajă la solidificarea aliajului și formează sufluri în lingouri.

Solubilitatea hidrogenului în cupru este influențată în mod diferit de către elementele de aliere. Unele elemente de aliere măresc solubilitatea, altele o micșorează. Din prima categorie fac parte nichelul, platina, paladiul etc., iar din a doua categorie aluminiul, zincul, staniul, plumbul, fosforul, arsenul etc.

Totuși, micșorarea solubilității hidrogenului în aliaje, nu este atât de importantă încât introducerea acestor elemente să poată fi folosită în scopuri practice pentru degazarea cuprului și aliajelor sale. Practica a arătat că sufluri se obțin și în cazul pieselor turnate din aliaje, în compoziția cărora intra elemente care micșorează solubilitatea hidrogenului (alame, bronzuri cu staniu, bronzuri cu siliciu, aliaje cupru – crom, cupru – argint, etc.).

În literatura de specialitate, există două ipoteze cu privire la reacțiile posibile între cupru și oxid de carbon:

- a) se admite că solubilitatea oxidului de carbon în cupru este chiar superioară solubilității hidrogenului;
- b) oxidul de carbon are o comportare asemănătoare cu azotul – nu provoacă apariția suflurilor în lingouri.

Prin cercetările din ultima perioadă, s-a constatat că dizolvarea oxidului de carbon în cupru are loc dar variază foarte puțin cu temperatura, chiar la trecerea din stare lichidă în stare solidă. Din această cauză, piesele turnate din cupru, care în stare lichidă a fost supus acțiunii oxidului de carbon, se obțin fără sufluri.

În piesele din cupru pot să apară suflurile, în cazul când metalul conține în soluție carbonul sau oxidul de carbon și se toarnă în atmosferă oxidantă.

Reacția de reducere a cuprului oxidat cu oxid de carbon se desfășoară la suprafață, este exotermă și suficient de energică.

Din cercetările experimentale s-a constatat că metalul care conține o cantitate însemnată de oxid cupros (0,3 – 0,5%) și care a fost solidificat în atmosferă de oxid de carbon, prezintă sufluri, iar în cazul când conținutul de Cu_2O este sub 0,3%, produsele turnate sunt compacte.

Având în vedere faptul că oxidul de carbon este foarte puțin solubil în cupru și că procesul de reducere a Cu_2O cu CO se desfășoară energic, rezultă că procesul ar putea prezenta mari avantaje practice la dezoxidarea cuprului.

De regulă, în cazul reducerii cuprului oxidat cu oxid de carbon nu apare pericolul obținerii lingourilor poroase așa cum se întâmplă folosind în calitate de reducător hidrogenul.

Metoda însă nu a fost răspândită în industrie, probabil datorită faptului că oxidul de carbon este un gaz toxic.

Asupra cuprului solid care conține oxid cupros, oxidul de carbon va acționa la temperaturi ridicate, calitativ ca și celelalte gaze reducătoare, dar cu o viteză mult mai

mică deoarece difuzia oxidului de carbon în cupru este mai înceată decât difuzia hidrogenului.

Cuprul care nu conține oxid cupros nu se modifică vizibil prin încălzire în atmosferă reducătoare.

Oxidul de carbon nu este un gaz dăunător pentru majoritatea aliajelor de cupru deși, în unele dintre ele, sunt prezenți componenți asupra cărora oxidul de carbon are o influență negativă. Datorită însă, conținutului mic al elementului de aliere, influența lui este redusă de prezența cuprului.

La contactul cuprului cu hidrocarburile din atmosfera agregatului la temperaturi înalte, este posibilă disocierea lor în carbon și hidrogen.

Carbonul rezultat rămâne la suprafață sub formă de negru de fum, iar hidrogenul difuzează în metalul solid și formează o soluție de concentrație determinată de temperatură și presiune, ca și în cazul reacției dintre metal și hidrogenul ca atare.

Substanța activă din compoziția hidrocarburii, care acționează asupra cuprului, este hidrogenul. La contactul cu metalul topit, hidrogenul rezultat la descompunerea hidrocarburilor, fie că intră în reacție cu oxidul cupros, dacă cuprul este oxidat, fie că se dizolvă în metal, în cazul când acesta nu mai conține oxigen.

Hidrogenul care rezultă din disocierea hidrocarburii, acționează asupra cuprului la fel ca hidrogenul elementar.

Nu se poate vorbi de o solubilitate a hidrocarburilor în cupru și deci, de o influență negativă a lor asupra caracteristicilor fizico – mecanice ale metalului. Singurul produs rezultat din disocierea hidrocarburii care provoacă o influență negativă asupra cuprului și proprietăților sale este hidrogenul.

Hidrocarburile au o acțiune asemănătoare asupra aliajelor de cupru cu hidrogenul. La disocierea hidrocarburilor este eliberat hidrogenul care se dizolvă în baia metalică, provocând defectele cunoscute în produsele turnate.

Aliajele de cupru în stare solidă, care conțin aluminiu, siliciu, zinc, magneziu, încălzite în atmosferă reducătoare, în funcție de concentrația gazelor și de gradul lor de activitate, pot să sufere următoarele procese:

Reducerea de la suprafața lor, a peliculelor oxizilor de cupru și într-o oarecare măsură a oxizilor de nichel, plumb, staniu etc. Oxizii care au tensiunea de disociere foarte scăzută (oxizi de siliciu, de mangan, aluminiu, zinc etc.) nu sunt reduși și datorită, probabil, prezenței în atmosfera agregatelor a unor substanțe gazoase (CO de exemplu), care pentru unele din aceste metale este considerat un gaz oxidant. În atmosferă reducătoare,

care conține hidrogen, oxid de carbon și hidrocarburi, se vor reduce ușor numai oxizii care au o tensiune de disociere mult mai mare decât vaporii de apă și bioxidul de carbon (oxidul cupric și cupros, oxidul de plumb, oxid de cadmiu etc.).

Oxizii de aluminiu, de magneziu, de siliciu, de titan, de zinc etc., nu se reduc în aceste condiții deoarece tensiunea lor de disociere este mai mică decât a vaporilor de apă și a bioxidului de carbon.

Folosirea atmosferei reducătoare, până la topirea metalului, la elaborarea cuprului, a aliajelor cupru – staniu, a aliajelor cupru – plumb și a aliajelor cupru – nichel, este în majoritatea cazurilor rațională, pe când în cazul elaborării aliajelor de cupru cu zinc, aluminiu, siliciu etc., această atmosferă nu este indicată.

1.1.4.5 Aspecte practice privind realizarea electrozilor din bronz cu vergele sinterizate din pulberi de bronz cu 8 – 10,7 % Al.

Sistemele zgurifiante folosite pentru sudarea electrică manuală cu arcul electric a bronzului, trebuie să satisfacă următoarele cerințe specifice acestui procedeu de sudare.

a. Asigurarea unei stabilități corespunzătoare a arcului electric prin:

- ionizarea arcului
- stabilirea raportului optim cantitativ între zgura topită și metalul topit pentru a asigura o ardere uniformă a arcului electric

b. Un transfer corespunzător al metalului topit în baia de metal depus prin:

- acordarea temperaturii de topire a sistemului zgurifiant cu cea a metalului depus;
- asigurarea unei vâscozități și a unei tensiuni superficiale care să asigure o trecere protejată și constantă (în picături mici) a metalului vergelei prin arcul electric;
- corelarea coeficienților de contracție termică ai bronzului zgură-aliaj, în vederea obținerii unei cât mai ușoare detașări a zgurii de pe rândul de sudură.

c. O protecție avansată a băii de metal topit prin :

- asigurarea unui metal depus cât mai curat, lipsit de oxizi metalici (funcția de decapare), de oxizii nemetalici (funcția de rafinare-decapare) și de gaze (funcția de degazare);
- posibilitatea de aliere, de compensare prin unele elemente de aliere ce ard mai ușor în arcul electric (ex.Si, Mn) și a alierii de modificare [8], în vederea finisării structurii metalului depus (ex. Sn, Ag).

d. Satisfacerea cerințelor tehnologiei de fabricație a electrozilor înveliți, privind :

- realizarea unor mase de înveliș plastice;
- întărirea învelișului după presarea pe vergeaua electrodului (proprietăți hidraulice);
- realizarea, după uscare, a unui înveliș nehigroscopic [6,7].

Literatura tehnică de specialitate folosită, prezintă doar unele aspecte particulare privind sistemele zgurifiante, compatibile bronzului. Modul de satisfacere a tuturor cerințelor specifice, prezentate anterior, constituie împreună cu rețeta de învelire și tehnologia de fabricație, licența producătorilor străini de asemenea materiale de adaos. (Tabelul 1.10)

Tabelul 1.10

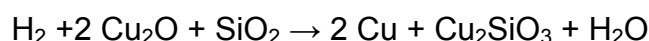
Standard	Tipul sârmei	Compoziția chimică %													
		Cu +Ag	Zn max	Sn max	Mn max	Fe max	Si max	Ni max	P max	Al max	Pb max	Ti max	As max	Alte el.	Obs
DIN1733 Teil1/1979	S- CuSn12 (2.1056)	Rest	0,1	11,0 13,0	---	0,1	---	---	0,01 ..0,4	0,01	0,02	---	---	Max 0,4	WIG MIG (G)
DIN1733 Teil1 Entwurf 1987	SG- CuSn12 (2.1056)	Rest	0,1	11,0 13,0	---	0,1	---	---	0,01 .0,35	0,01	0,02	---	---	Max 0,4	WIG MIG (G)

Sistemele zgurifiante compatibile sudării bronzului, datorită temperaturii lor scăzute de topire (realizate ca eutectice ale unor sisteme polinare) se întâlnesc sub denumirea de fondanți. Ca exemplu este dat fondantul format din : 25% NaCl + 65% SiO₂ + 10% NaCl având o temperatură de topire de cca. 800 °C. Un fondant fluoritic este CaSiO₃ x CaF₂ având o temperatură de topire de cca. 1150 °C.

Pentru degazarea bronzului se pot utiliza ca fondant



care elimină hidrogenul după reacția:



O acțiune rafinată energetică a bronzului o au fondanții conținând fluoruri : Na₃AlF₆; CaF₂; NaF; la care se adaugă : Na₂CO₃; K₂SO₄; NaCl; KCl Na₂B₄O₇; etc.

Încercările cu zgură de bor (95% borax + 5% MgO) au dat rezultate bune, folosirea industrială fiind însă restrânsă încă din cauza costului ridicat.

Alte câteva rețete folosite ca fondanți pentru bronz, sunt prezentate în tabelul 1.11:

Acești fondanți, în stare lichidă, asigură o bună protecție băii topite de bronz. [5]

Gazele prezente în bronz formează combinații chimice (oxizi, hidruri, nitruri) soluții solide sau pot constitui incluziuni sub formă de pori în suspensie, apărute mai ales în timpul solidificării.

Tabelul 1.11

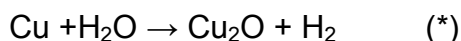
Nr. crt	Componente %								
	Na ₂ SiO ₃	CaF ₂	Na ₂ O	NaF	NaCl	Na ₂ CO ₃	SiO ₂	MgF ₂	Zgură granulată
1	----	50	----	----	----	50	----	----	----
2	----	40	----	----	----	20	40	----	----
3	----	15	----	----	----	15	----	----	70
4	90	10	----	----	----	----	----	----	----
5	90	----	----	----	10	----	----	----	----
6	95	2,5	----	2,5	----	----	----	----	----
7	----	2,6	25,9	2,4	----	----	69,1	----	----
8	93	3,5	----	----	----	----	----	3,5	----
9	----	----	25,9	3,5	----	----	67,1	3,5	----

Combinațiile chimice care se formează se distribuie la marginea grăunților, întrerup legătura dintre ei și provoacă micșorarea rezistenței și a plasticității bronzului. De altfel, combinațiile chimice ale gazelor cu bronzul și ementele de aliere, constituie sursa de bază a impurificării topiturii cu incluziuni nemetalice.

Solubilitatea gazelor în bronz este o consecință a procesului de difuzie și este influențată de proprietățile fizico-chimice ale metalului cu care gazele pot forma combinații chimice sau soluții solide. La micșorarea temperaturii gazelor de prezentate se elimină datorită micșorării solubilității lor și pot manifesta o influență distrugătoare asupra procesului de cristalizare a metalului.

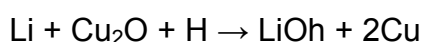
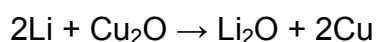
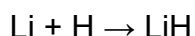
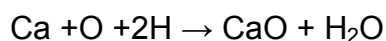
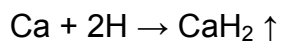
Oxidarea bronzului începe cu o absorbție mai rapidă a oxigenului din aer, pe măsura dizolvării Cu₂O în metal, absorbția se reduce urmare a saturării bronzului în oxigen.

Bronzul topit acționează astfel cu unele gaze:



În cazul reacției (*) apare „boala de hidrogen” reacția reversibilă (**) poate fi favorabilă dezoxidării bronzului (pentru conținuturi de max. 0,3% Cu₂O) și defavorabilă pentru Cu₂O cuprins între 0,3-0,5%.

Îndepărtarea gazelor dizolvate se poate face și prin introducerea în topitură a unor substanțe solubile ce formează combinații după reacțiile :



Acești degazanți, având și funcție dezoxidantă, se introduc sub formă de aliaj Cu – Ca – Li.

1.1.5 ELABORAREA SI OBTINEREA ELECTROZILOR CU INVELIS COMPOZIT

1.1.5.1 Caracteristicilor electrozului tubular învelit

Diametrul electrozului tubular învelit pentru sudarea bronzurilor cu aluminiu s-a ales, din considerente economice și de productivitate a depunerii, la valoarea de 4 mm. Corpul tubular al electrozului este obținut din țeavă de cupru trasă, în vederea obținerii unor abateri de la valoarea diametrului exterior cât mai mici. La interior, corpul tubular este umplut cu miez compozit alcătuit fie din pulbere de aliaj de bronz sinterizată, fie din pulbere de bronz înglobată în aluminiu topit, absorbit prin vidare în țeava de cupru, ulterior extrudată sau trasă.

La exteriorul corpului tubular se depune prin coextrudare o pastă bazică endotermă, pe bază de criolit, rezultând un diametru exterior al electrozului astfel format de 7 mm. Natura endotermă a învelișului a fost special concepută pentru a diminua cantitatea de căldură dezvoltată în zona de sudare, cu scopul reducerii valorii diluției.

Lungimea electrozului nu trebuie să fie prea mare, deoarece determină supraîncălzirea acestuia. Valoarea optimă va rezulta în urma experimentărilor și va fi cuprinsă între 250 – 400 mm, având în vedere atât considerente tehnologice cât și economice. Totodată trebuie avute în vedere limitele privind excentricitatea învelișului și a corpului tubular la depunerea pastei de înveliș, care este cu atât mai mare cu cât lungimea electrozului este mai mare. Asigurarea unei depuneri uniforme a învelișului pe corpul tubular este o problemă majoră și depinde de sistemul de co-extrudare utilizat.

Procedeul de sudare cu electrod tubular învelit este caracterizat prin băi topite relativ reci, cu temperaturi și energii optimizate asemănătoare sudurilor prin difuzie, cu extindere redusă a diluției. Temperaturile suportate de amestecul *meccanic* (particule solide, zguri, gaze etc.) la trecerea prin arcul electric, se optimizează prin alegerea compoziției învelișului, astfel încât să nu se depășească temperaturile de vaporizare și oxidare ale elementelor componente și să se reducă gradul de poluare prin fumuri acide. Soluția propusă permite utilizarea, în procesul de încărcare prin sudare, a unor electrozi înveliți cu grosimi mari (diametru de 7 mm) și a unor energii liniare la sudare reduse, care asigură diminuarea efectului de topire a materialului suport. Prin alegerea grosimii și compoziției învelișului extrudat, a dimensiunii și naturii baghetei metalice, se asigură realizarea unor rânduri late de sudură și a unei diluții extrem de mici.

Reglarea cantității de energie din arc se face cu ajutorul unor substanțe endoderme (CaCO_3) introduse în învelișul extrudat. Caracteristicile de tenacitate și rezistență ale matricii metalice sunt determinate de puritatea matricei de bază de cupru, de natura și caracterul învelișului care, la rândul lor, influențează intensitatea proceselor de oxidare, conținutul elementelor de aliere din depunerea sudată, conținuturile de oxigen și hidrogen (“boala de oxigen și de hidrogen”) difuzibile etc.

1.1.5.2 Procesele fizico-mecanice caracteristice obținerii electrozilor cu invelis compozit

a) Consideratii teoretice generale

Electrozii au multiple functii: conduc curentul electric, amorseaza arcul prin scurtcircuitarea la inceputul procesului, formeaza cusatura prin depunere. Materialele de adaos utilizate la sudare trebuie sa indeplineasca urmatoarele conditii:

- compozitia chimica sa fie apropiata de cea a metalului de baza sau compatibila cu aceasta;
- cordoanele de sudura realizate sa aiba proprietati apropiate de cele ale metalului de baza;
- in urma solidificarii sa rezulte structuri cat mai omogene, cu granulatie corespunzatoare si fara constituinti fragili;
- sa corespunda, ca si metalul de baza, conditiilor de mediu in care lucreaza piesa (presiune, temperatura, mediu coroziv);
- sa fie usor prelucrabil in procesul de sudare.

In afara de materialul care intra in masa metalica se considera ca material de adaos si acele materiale care contribuie la alierea sudurii, cum sunt invelisurile si fluxurile.

Electrozii înveliți pot fi clasificați la rândul lor astfel:

- *dupa destinație:*
 - pentru oțeluri nealiat și slab aliat;
 - pentru oțeluri slab aliat rezistente la temperaturi sub 600° C;
 - pentru oțeluri mediu aliat și înalt aliat, anticorozive și refractare;
 - pentru încărcare de straturi dure;
 - pentru fonte;
 - pentru metale neferoase și aliajele lor.
- *dupa natura învelisului:*
 - cu învelis acid, bazic, celulozic;
 - cu învelis oxidant, titanice, rubilic;
 - cu învelis special (antihigroscopic pentru sudarea în apă dacă conține mai mult de 50% pulbere de fier)

Electrozii înveliți sunt în general destinați sudării manuale cu arc electric. Învelisul electrodului este un strat format dintr-un amestec de substanțe, aplicat pe exteriorul materialului de adaos în scopul îmbunătățirii calității sudurii. Învelisul îndeplinește funcții multiple:

- ionizant, adică conține substanțe care accentuează ionizarea mediului pentru a mari stabilitatea arcului;
- zgurifiant, adică conține substanțe care permit formarea zgurii fluide ce se ridică deasupra băii metalice, rol de protecție;
- dezoxidant, adică conține substanțe care realizează dezoxidarea băii metalice;
- gazefiant, adică formează un strat de gaze care protejează baia de influența dăunătoare a oxigenului;
- plastifiant și liant, adică adera bine pe vergeaua metalică.

Cuprul și aliajele din cupru sunt caracterizate prin conductivitate termică și electrică deosebit de bune, având și o rezistență bună la coroziune în atmosferă. Proprietățile fizico-mecanice deosebite influențează direct sudabilitatea aliajelor de cupru prin următoarele aspecte:

- conductivitatea termică mare disipă rapid căldura în masa metalică a pieselor de sudat; se recomandă preîncalzirea și sudarea cu surse termice foarte concentrate;

- deformatii mari, datorita coeficientului mare de dilatare liniara pot produce fisurarea sudurii si a ZIT;
- aparitia fisurilor de cristalizare si a porilor, datorita absortiei de oxigen in timpul sudarii;
- eutecticul $\text{Cu}+\text{Cu}_2\text{O}$ situat la limitele graunților avand temperatura de topire mai scazuta (1064°C) fata de cupru (1083°C) provoaca fragilizarea la cald.

b) Stabilirea tehnologiei de realizare a electrozilor din bronz, inveliti prin metalurgia pulberilor

Modelul conceptual la nivel detaliat al subsistemului tehnologic de realizare a electrozilor inveliti prin metalurgia pulberilor este prezentat in fig. 1.12.

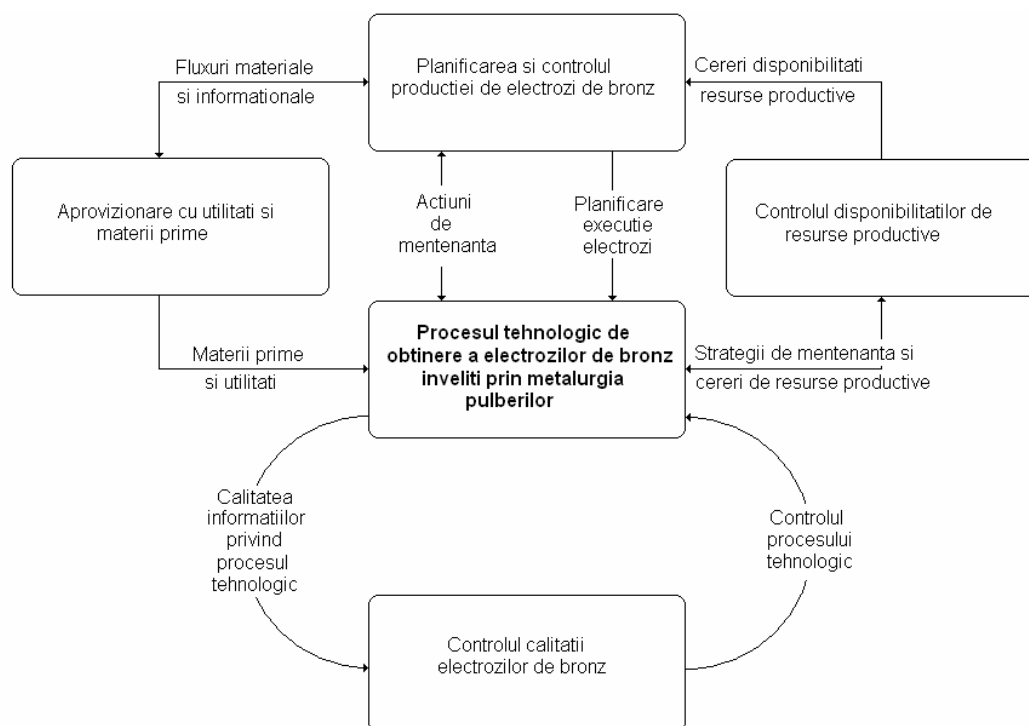


Fig. 1.12 Modelul conceptual al sistemului tehnologic de realizare a electrozilor de bronz inveliti prin metalurgia pulberilor

Modelul conceptual al sistemului tehnologic de realizare a electrozilor de bronz inveliti, prin metalurgia pulberilor, va fi dezvoltat in continuare, pentru a arata activitatile care vor fi desfasurate pentru atingerea obiectivului final.

Fluxul tehnologic general de fabricare a electrozilor de bronz inveliti, prin metalurgia pulberilor, prezentat in fig. 1.13, este format din doua etape principale:

AObținerea vergelelor de bronz prin procedee specifice metalurgiei și procesării pulberilor;
BFabricarea electrozilor de bronz înveliți.

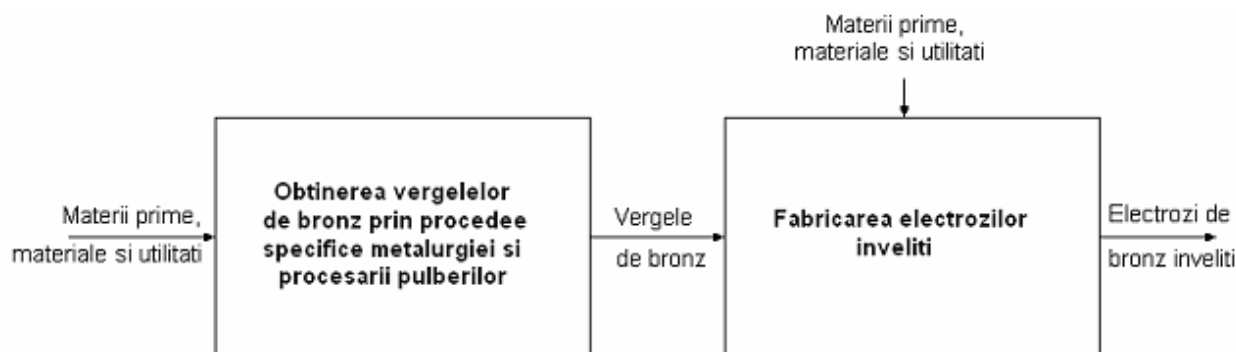


Fig. 1.13 Fluxul tehnologic general de fabricare a electrozilor de bronz înveliți, prin metalurgia pulberilor

1.1.5.3 Obținerea vergelelor de bronz prin procedee specifice metalurgiei și procesării pulberilor

Pentru obținerea vergelelor de bronz prin procedee specifice metalurgiei și procesării pulberilor, propunem un proces tehnologic format din două etape:

- **ETAPA I – Obținerea pulberilor de tip Cu-Al prin pulverizare din faza lichidă;**
- **ETAPA II – Procesarea pulberilor de tip Cu-Al, în vederea obținerii vergelelor necesare fabricării electrozilor de bronz.**

Etapa I, constituie una din cele mai importante faze a procesului tehnologic, deoarece este cunoscut faptul că reușita acestuia depinde în mare măsură de caracteristicile materialelor de pornire. Astfel din multitudinea de procedee de obținere a pulberilor, prin adoptarea metodei de pulverizare a cuprului și a diferitelor aliaje de tip Cu-Al cu fluide sub presiune, se poate obține întreaga gamă de pulberi necesare procesării ulterioare.

Etapa a II-a, procesarea pulberilor în amestecul prescris în rețetă, determină în mod special caracteristicile semifabricatelor (vergelelor) destinate fabricării electrozilor de bronz. În această etapă se au în vedere următoarele faze tehnologice:

- *stabilirea procedurii de precompactare* – permite alegerea metodei de obținere a precompactului (semifabricat din pulberi precompactate sau pulberi introduse într-o teacă tubulară de cupru);

- *stabilirea rețetelor sorto-tipo-dimensionale ale amestecurilor de pulberi* – permite alegerea unor rapoarte procentuale optime ale amestecului de pulberi în funcție de metoda ulterioară de precompactare, astfel ca în final să rezulte vergele de bronz cu 8-10,7% aluminiu, 4-6,5% nichel și 4-6% fier;
- *dozarea și omogenizarea amestecurilor de pulberi* – permite obținerea unor amestecuri de pulberi omogene conform rețetelor prestabilite;
- *obținerea precompactelor* – permite realizarea unor structuri cilindrice presinterizate din pulberi metalice destinate procesarilor ulterioare;
- *trefilarea (extrudarea) sau forjarea precompactelor* – permite obținerea vergelelor calibrate la diametrul de 4, 5 sau 6 mm, necesare fabricării electrozilor de bronz.

1.1.5.2.1 Obținerea pulberilor de tip Cu-Al prin pulverizare din faza lichida

Procedeul de obținere a pulberilor din aliaj de tip Cu-Al, prin pulverizare din faza lichida, are fundamentul unui model conceptual evoluat, în concordanță cu tehnologiile noi utilizate la nivel internațional. Acest procedeu, redat schematic în fig. 1.13, permite stabilirea parametrilor optimi ai următoarelor variabile:

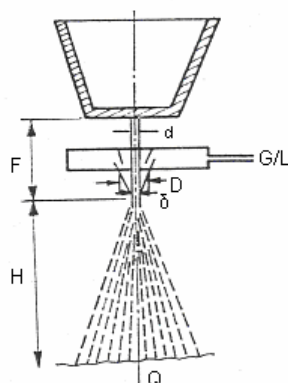
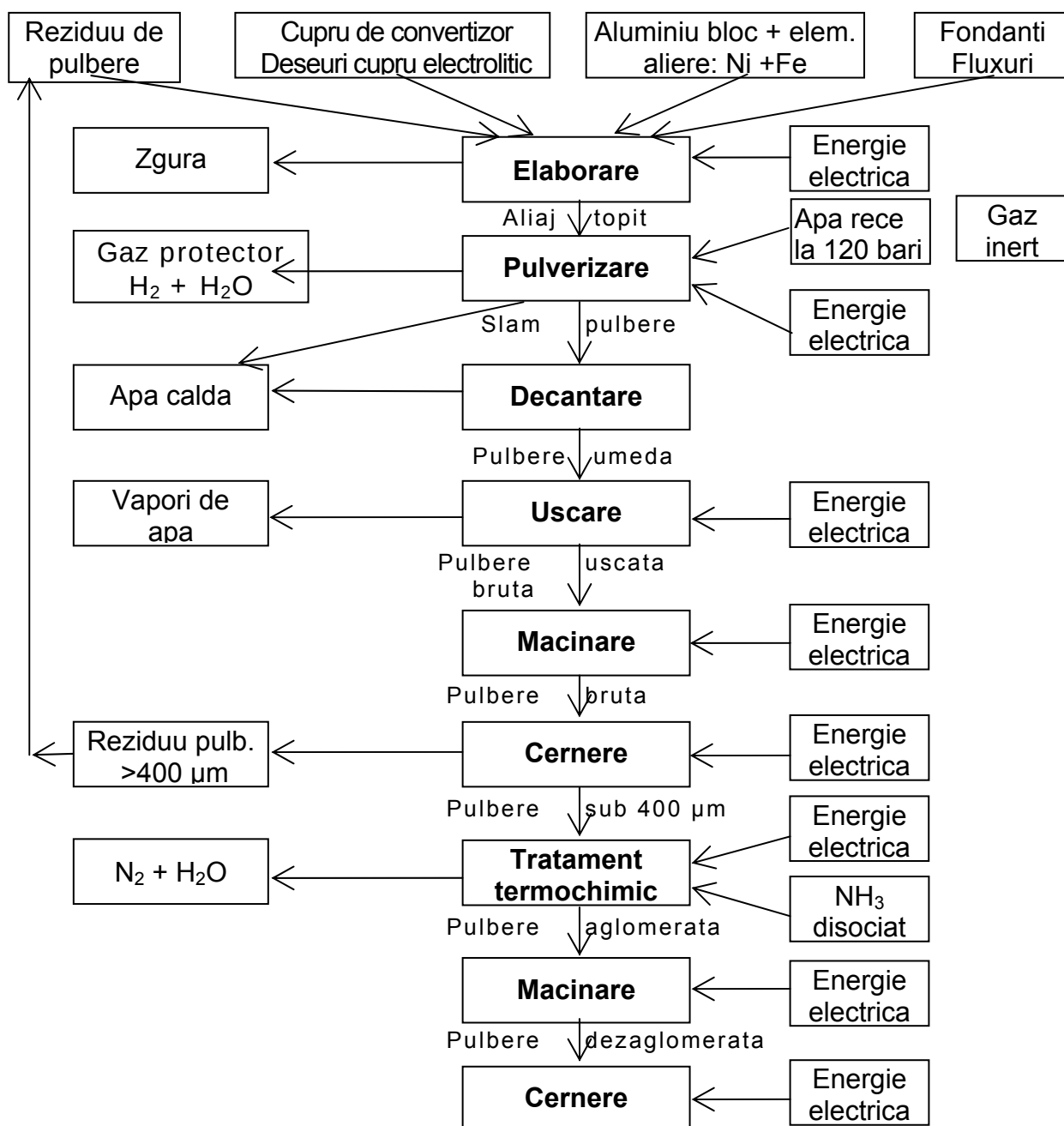


Fig. 1.13 Schema instalației de pulverizare a din faza lichida aliajului de tip Cu-Al

- atmosfera - atât în timpul topirii, cât și în rezervorul atomizorului;
- aliajul topit – compoziția chimică,
- vâscozitatea, tensiunea superficială, temperatură, căldura masică;
- natura fluidului de pulverizare – gaz sau lichid (G/L);
- caracteristicile fluidului de pulverizare – presiunea statică, debitul, viteza, vâscozitatea;
- orificiul de scurgere – diametrul (d), debitul de aliaj lichid;

- forma și caracteristicile dispozitivului de pulverizare – geometria jetului, diametrul de pulverizare (D), unghiul jetului (δ), diametrul sau grosimea jetului, distanța focală (F);
- rezervor de pulverizare – diametrul, înălțimea (H), mediul (Q)

Fluxul tehnologic de fabricare a pulberilor din aliaje Cu-Al prin pulverizare cu fluide sub presiune este prezentat în figura 1.14. Aceasta tehnologie permite obținerea tuturor tipurilor de pulbere din aliaje Cu-Al destinate realizării, prin procedee de prelucrare ulterioară, a unor vergele destinate obținerii unor electrozi de sudură pentru recondiționarea elicelor de nave. Prin modificarea diferiților parametri ai procesului tehnologic, cât și prin utilizarea unui anumit agent de pulverizare (lichid sau gazos), se obțin cele mai variate tipuri de pulbere.



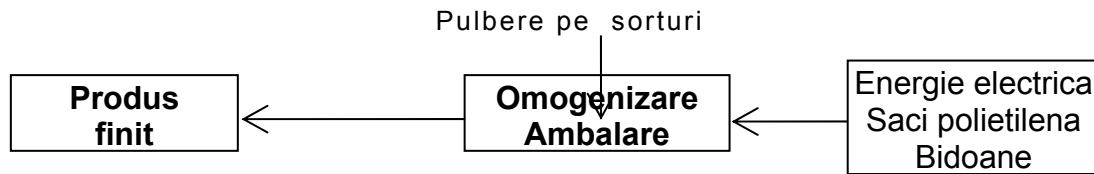


Fig. 1.14 Fluxul tehnologic pentru fabricarea și conservarea pulberilor din aliaje Cu-Al

a) Compoziția chimică a aliajului

Pentru exemplificarea prin valori reale a calculelor tehnologice s-a optat pentru un aliaj reprezentativ de tip Cu-Al 10, iar pentru elaborarea altor compoziții chimice se fac calcule prin analogie.

Al, in %	Fe, in %	Ni, in %	Mn, in %	Cu, in %		Impurități, in % max				
				rest	Total	Pb	Sn	Zn	Si	
8 ... 10,7	4 ... 6	4 ... 6,5	≤ 1,5		0,5	0,3	0,3	0,3	0,1	

b) Alegerea agregatului de elaborare

La elaborarea aliajului de tip Cu-Al cu compoziția chimică de mai sus se poate opta pentru un cuptor electric cu inducție de medie frecvență, cu capacitatea de 250 kg (tip ICI 250) datorită, în principal, următoarelor avantaje:

- posibilitatea concentrării unei puternice surse termice într-un spațiu mic, cu obținerea temperaturii de topire într-un timp scurt;
- ușurința reglării regimului de temperatură, cu un grad înalt de uniformitate a încălzirii;
- posibilitatea aplicării vidului în spațiul de lucru al cuptorului;
- condiții optime pentru realizarea unui flux tehnologic complet automatizat;
- îmbunătățirea condițiilor de muncă și volum redus a echipamentelor.

c) Pregătirea sarjei și alcatuirea încărcăturii

Pentru elaborarea aliajului lichid, în vederea pulverizării acestuia se vor calcula cantitățile necesare în două variante:

In varianta I, încărcătura formată din materiale noi;

In varianta II, încărcătura formată din deseuri și prealiaje.

Înainte de introducerea în spațiul agregatului de elaborare, încărcătura alcătuită din cupru primar, metale rafinate, prealiaj, recirculat, blocuri de aliaj Cu-Al, trebuie să fie

curatata de ulei, umiditate, oxizi, etc. Cuprul electrolitic impurificat cu electrolit, nu se admite in incarcatura, fara un tratament prealabil, care consta in mentinerea timp de 4...5 ore la temperatura de 400-500 °C.

Nu este permis sa se introduca deseuri (in special aschii) in metalul lichid intrucat umiditatea absorbita la suprafata lor poate servi ca sursa de saturare a topiturii in gaze.

Incarcatura umeda amplasata pe vatra fierbinte a cuptorului nu inrautateste calitatea topiturii deoarece umiditatea se indeparteaza inaintea aparitiei fazei lichide;

d) Elaborarea aliajului

La stabilirea ordinii de incarcare a componentilor incarcaturii in cuptorul cu inductie trebuie sa se tina seama de raporturile cantitative ale acestora si de proprietatile lor fizico-chimice.

De regula, la inceput se introduce componentul de baza (cuprul) si numai dupa topirea acestuia se adauga si celelalte materiale ce compun incarcatura.

Calculul incarcaturii se efectueaza pentru 100 kg.

In **varianta I**,

Cand se lucreaza cu materiale noi, se incarca mai intai 79 kg cuprul catozi, dupa topire se adauga 5 kg Ni, 5 kg Fe, 1 kg Mn si 0,75 kg sticla pentru protectia baii.

In cazul bronzului cu aluminiu, procesul de elaborare incepe cu topirea rapida a cuprului, si apoi introducerea nichelului si fierului. Dupa dezoxidarea cu 0,05% P introdus prin prealiaj de 0,75 kg Cu-P9, se incarca 10 kg de aluminu si se acopera baia cu fondant de protectie.

Suplimentar se maresc cantitatile, in functie de pierderile care au loc prin ardere la elaborarea metalelor neferoase. Aceste cantitati suplimentare necesare pentru a compensa arderile sunt:

$$0,015 \times 79 = 1,185 \text{ kg} - \text{pentru cupru};$$

$$0,03 \times 10 = 0,3 \text{ kg} - \text{pentru aluminiu}.$$

In **varianta II**, cand se lucreaza cu deseuri si prealiaje se incarca intai 50 de kg de prealiaj de Cu-Fe (10% Fe si 90% Cu) si 25 de kg de prealiaj de Cu-Ni (20%Ni si 80% Cu), si 12,5 deseuri de cupru. Apoi se adauga 4 kg prealiaj Cu-Mn (30% Mn si 70% Cu), iar dupa topire se adauga 0,75kg Cu-P 9 si 0,75kg sticla pentru protectia baii. Daca se are la dispozitie blocuri de aluminiu (daca nu deseuri de aluminiu), se incarca 10,5 kg.

Calculul incarcaturii s-a efectuat cunoscand ca trebuie sa avem:

Cupru (79 kg):

din prealiajul Cu-Fe (10% Fe și 90% Cu): $50 \times \frac{90}{100} = 45 \text{ kg}$

din prealiajul Cu-Ni (20% Ni și 80% Cu): $25 \times \frac{80}{100} = 20 \text{ kg};$

din prealiajul Cu-Mn (30% Mn și 70% Cu): $4 \times \frac{70}{100} = 2,8 \text{ kg}$

Pentru a avea necesarul de 79 % Cu mai avem nevoie de:

$$79 - (45 + 20 + 2,8) = 11,2 \text{ kg de Cu}$$

Tinând cont de pierderile prin ardere (calculate conform tabelului nr. 4.35 din [5]), care sunt de:

$$79 \times 0,015 = 1,185 \approx 1,2 \text{ kg}$$

Vom mai avea nevoie de : $11,2 + 1,2 = 12,4 \text{ kg de cupru}$

Deoarece cuprul îl introducem sub forma de deseu de Cu și în acest caz putem considera o puritate doar de 99,5 %, vom avea nevoie de o cantitate de deseu de cupru (notată cu C) de:

$$C = \frac{12,4 \cdot 100}{99,5} = 12,463 \approx 12,5 \text{ kg de Cu introdus sub forma de}$$

deseuri

Aluminiu (10 kg):

Dacă avem bloc de aluminiu tehnic, introducem 10 kg.

Tinând cont de pierderile prin ardere (calculate conform tabelului nr. 4.35 din [5]), care sunt de:

$$10 \times 0,03 = 0,3 \text{ kg}$$

În total, vom avea nevoie de 10,3 kg de aluminiu

Dacă folosim deseuri de aluminiu, vom avea nevoie de o cantitate de deseu de aluminiu (notată cu A) care trebuie calculată, deoarece în acest caz putem considera o puritate doar de 99,2 %, (adaugăm și materialul necesar pt a compensa arderile ce se produc, calculate anterior):

$$A = \frac{10,3 \cdot 100}{99,2} = 10,383 \approx 10,4 \text{ kg de Al introdus sub forma de deseuri}$$

Fier (5 kg):

din prealiajul Cu-Fe (10% Fe și 90% Cu): $50 \times \frac{10}{100} = 5 \text{ kg}$

Nichel (5 kg):

din prealiajul Cu-Ni (20%Ni și 80% Cu): $25 \times \frac{20}{100} = 5 \text{ kg};$

Mangan ($\leq 1,5 \text{ kg}$):

din prealiajul Cu-Mn (30% Mn și 70% Cu): $4 \times \frac{30}{100} = 1,2 \text{ kg}$

La elaborarea bronzului dintr-o incarcatura mixta, alcatuita din metale primare si metale secundare (provenite din deseuri) se incarca in primul rand cuprul primar si apoi metalele secundare. Dezoxidarea baii si introducerea elementelor de aliere se face in aceeasi ordine ca si in cazul elaborarii bronzului din metale pure.

La elaborarea aliajului Cu-Al sunt necesare urmatoarele utilaje, instalatii si dispozitive:

- cuptorul electric cu inductie tip ICI 250, cu captuseala acida, de medie frecventa (2500 Hz) dotat cu toate instalatiile si echipamentele necesare;
- cantar pentru cantarirea incarcaturii si a elementelor de aliere cu domeniu de masurare 0-500 kg;
- aparat pentru masurarea temperaturii, cu domeniu de masurare de max. 1500°C ;
- dispozitive de realizare a captuselii refractare.

e) Turnarea aliajului

Inainte de turnare se verifica starea captuselii refractare a palniei si dimensiunea orificiului de scurgere. Daca acestea sunt necorespunzatoare acestea se repara sau se inlocuiesc, se vopsesc cu vopsea refractara si se preincalzesc la $200 - 250^{\circ}\text{C}$. De asemenea se indeparteaza toata cantitatea de zgura de la suprafata baii metalice precum si eventualele resturi cazute pe suprafata superioara a cuptorului, care ar putea determina obturarea orificiului de scurgere al palniei de turnare.

La sfarsitul elaborarii aliajului Cu-Al, atunci cand temperatura acestuia atinge $1250 - 1300^{\circ}\text{C}$, se evacueaza $2/3$ din cantitatea de aliaj topit in palnia de turnare.

In timpul turnarii se va urmari asigurarea unui debit de aliaj lichid suficient de mare astfel incat in palnia de turnare sa fie o inaltime de metal de minim 50 mm.

f) Pulverizarea aliajului

Operatia tehnologica de pulverizare a aliajului Cu-Al, este determinata in ceea ce priveste obtinerea diferitelor sortotipodimensiuni de pulberi. Astfel in functie de fluidul de pulverizare (gaz inert sau apa), de dispozitivul de pulverizare (cu fanta sau cu duze) sau de parametrii fizici ai pulverizarii, se obtin cele mai variate tipuri de pulberi.

Pentru obtinerea de pulberi sferice de un grad redus de oxidare, inainte de turnarea aliajului in palnie, se deschide robinetul de admisie, astfel incat gazul inert (azot, argon) sa patrunda in dispozitivul de pulverizare. Marimea granulelor este influentata in mod direct de presiunea de pulverizare astfel cu o presiune de pulverizare mica se obtin pulberi sferice cu diametrul mare iar prin cresterea presiunii scad dimensiunile granulometrice.

Pentru obtinerea pulberilor de forma neregulata cu un grad mai mare de oxidare se foloseste ca fluid de pulverizare apa sub presiune (80-110 bar). Ca si in cazul pulverizarii cu gaz inert, presiunea de pulverizare influenteaza in mod hotarator dimensiunile granulometrice.

Inainte de inceperea pulverizarii turnul de pulverizare trebuie curatat cu atentie de resturile ramase de la pulverizarile anterioare.

Pe tot parcursul pulverizarii, nivelul apei de racire trebuie sa fie corespunzator iar peretii interiori ai turnului de pulverizare trebuie sa fie stropiti cu apa pentru a nu se depune eventualele granule care îi lovesc.

La pulverizarea aliajului Cu-Al pentru a evita oxidarea se inunda turnul de pulverizare cu argon sau azot.

La turnarea si pulverizarea aliajului Cu-Al sunt necesare urmatoarele utilaje, instalatii si dispozitive:

- turn de pulverizare;
- palnia de turnare prevazuta cu duza de scurgere;
- dispozitive de pulverizare;
- pompa de inalta presiune (120 bar);
- instalatia de pulverizare cu gaz inert;
- rezervor tampon apa;
- echipamente de masurare a presiunii (gaz inert, apa);

g) Decantarea

Dupa 15 min de la terminarea operatiei de pulverizare se deschide robinetul de evacuare a apei de racire din turnul de pulverizare si se asteapta trecerea in totalitate a acesteia in rezervorul tampon.

In continuare se fixeaza containerul de captare sub orificiul de evacuare a slamului si se deschide clapeta turnului de pulverizare. Slamul compus din pulbere de aliaj Cu-Al si apa, preluat in containerul de captare, este transportat si golit intr-un container de decantare unde are loc separarea intregii cantitati de apa.

h) Uscarea

Pulberea umeda din containerul de decantare se aseaza in tavi confectionate din tabla de otel inoxidabil. Cantitatea de pulbere din aceste tavi va fi de 10-25 kg, in functie de parametrii ulteriori ai fluxului tehnologic (timp de uscare, timp de tratament termochimic, gradul de reducere) iar uscarea se va face la temperatura de 180 - 200°C in timp de 4-8 ore.

La decantarea si uscarea pulberilor din aliaje Cu-Al sunt necesare:

- bazin decantor;
- container captare pulbere + apa;
- separator pulbere de apa;
- cuptor de uscare electric cu rezistoare, cu ventilatie fortata;
- carucior rastel;
- tavi din material inoxidabil;
- aparate de masurarea temperaturii in cuptorul de uscare.

j) Tratament termochimic

- tratamentul termochimic se va face doar pentru pulberea de cupru cu granulație sub 0,315 mm, temperatura de tratament termochimic va fi de 700-800 °C
- pulberea de cupru va fi introdusă în tăvi (aprox. 20-25 kg) și va fi așezată pe banda transportoare a cuptorului de tratament termochimic din 500 în 500 mm;
- durata tratamentului termochimic va fi de aprox. 7,5-8 ore;
- buretele de cupru tratat va fi depozitat în containere curate.

k Macinare si cernere

In urma procesului de tratament termochimic pulberea rezulta sub forma de produs aglomerat, iar pentru realizarea operatiilor ulterioare este necesara dezintegrarea acesteia in stare solida operatie care se efectueaza in moara Kollergang.

Separarea prin cernere a diferitelor sorturi granulometrice se face pe ciurul oscilant respectiv sita mecanica.

La macinare, sitare, dozare si omogenizare sunt necesare urmatoarele echipamente, utilaje si instalatii:

- moara Kollergang;
- sita mecanica;

- ciur oscilant cu site;
- cantar;
- omogenizator;
- dozator volumetric.

1.1.5.2.2 Procesarea tehnologica a pulberilor de tip Cu-Al, in vederea obtinerii vergelelor necesare fabricarii electrozilor de bronz

Pentru obtinerea vergelelor necesare fabricarii electrozilor de bronz cu 8÷10,7% Al destinati reconditionarii elicelor navale, tinand seama de observatiile si teoriile enuntate pana in prezent, s-a adoptat urmatorul model conceptual:

Per ansamblu, modelul conceptual porneste de pulberea din aliajul de Cu-Al si elemente de aliere dozate conform retetei amintite, care consolidate prin sinterizare, pot asigura prelucrarea prin deformare plastica.

Procesarea pulberilor de tip Cu-Al, in vederea obtinerii vergelelor necesare fabricarii electrozilor de bronz, trebuie sa cuprinda urmatoarele faze tehnologice:

- *stabilirea procedului de precompactare* – permite alegerea metodei de obținere a precompactului;
- *stabilirea rețetelor sorto-tipo-dimensionale ale amestecurilor de pulberi* – permite alegerea unor rapoarte procentuale optime ale amestecului de pulberi în funcție de metoda de precompactare, astfel ca în final să rezulte vergele de bronz cu 8÷10,7% aluminiu;
- *dozarea si omogenizarea amestecurilor de pulberi* – permite obținerea unor amestecuri de pulberi omogene conform rețetelor prestabilite;
- *obținerea precompactelor* – permite realizarea unor structuri cilindrice presinterizate din pulberi metalice destinate procesarilor ulterioare;
- *trefilarea (extrudarea) sau forjarea precompactelor* – permite obținerea vergelelor calibrate la diametrul de 4, 5 sau 6 mm, necesare fabricării electrozilor de bronz destinați reconditionarii elicelor navale.

Reusita modelului conceptual propus trebuie sa tina seama de urmatorii factori care influenteaza procesul:

- stabilirea unor rapoarte procentuale optime ale amestecului de pulberi;
- obtinerea unei omogenizari avansate a amestecului de pulberi;
- stabilirea unor parametrii optimi ai sinterizarii;
- stabilirea unor metode si parametrii optimi de deformare.

a) Stabilirea rapoartelor procentuale optime ale amestecului de pulberi

Cazul I – vergele obtinute fara invelis din teava de cupru.

In acest caz putem avea doua variante:

➤ pulbere din aliaj Cu Al 10 Fe 5 Ni 5

Pulberea de cupru trebuie sa aiba urmatoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulata;
- calitatea suprafetei granulelor – rugoasa cu suprafata specifica mare;
- repartitie granulometrica - $< 0,2\text{mm}$;
- densitate aparenta - $3,8 \div 4,2\text{g/cm}^3$;
- capacitatea de curgere – $15 \div 18\text{s}/50\text{g}$;
- compozitia chimica – Cu, 79%; Al 10 %; Fe 5 %, Ni 5% impuritati, max 0,5%; O₂, max 0,3%;

➤ pulbere din aliaj Cu Al 10 Fe 6 Ni 6

Pulberea de cupru trebuie sa aiba urmatoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulata;
- calitatea suprafetei granulelor – rugoasa cu suprafata specifica mare;
- repartitie granulometrica - $< 0,2\text{mm}$;
- densitate aparenta - $3,8 \div 4,2\text{g/cm}^3$;
- capacitatea de curgere – $15 \div 18\text{s}/50\text{g}$;
- compozitia chimica – Cu, 77%; Al 10 %; Fe 6 %, Ni 6% impuritati, max 0,5%; O₂, max 0,3%;

Cazul II – vergele obtinute cu invelis din teava de cupru

In cazul folosirii metodei de obtinere a vergelelor de bronz din pulberi, cu invelis din teava de cupru (Cu 99,90%), la stabilirea rapoartelor procentuale optime ale amestecului de pulberi se va avea in vedere si aportul de cupru provenit de la invelis, in asa fel incat media procentuala a elementelor din vergea sa se incadreze in limitele stabilite.

In vederea obtinerii unor vergele de 4, 5 si 6 mm, tinand seama de porozitatea amestecului de pulberi, pentru invelis se aleg tevi de 5, 6 si respectiv 8mm si grosimea de perete de 0,5mm, astfel incat dupa deformare sa rezulte diametrul prescris.

➤ In teava cu diametrul de 8 mm si grosime de perete de 1 mm, se introduce un amestec de pulbere de bronz conform retetei:

Calculul matematic:

Calculul matematic se face pentru o lungime a tevii de 100 mm.

Pentru calculul procentelor masice a fiecarui component se calculeaza in primul rand volumele: V_{teava} , $V_{interior}$, V_{total} .

$$V_{teava} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) l \quad [\text{dm}^3]$$

unde: V_{teava} – volumul peretelui tevii;

D – diametrul exterior al tevii, $D = 8 \text{ mm}$;

d – diametrul interior al tevii, $d = 6 \text{ mm}$;

l – lungimea tevii, $l = 100 \text{ mm}$.

$$V_{teava} = \frac{\pi}{4} (0,08^2 - 0,06^2) \cdot 1$$

$$V_{teava} = 0,0022 \text{ dm}^3$$

$$V_{interior} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2 \cdot 1 = 0,0028 \text{ dm}^3$$

La dozarea aliajului de pulberie se va tine cont de densitatea si volumul tevii de cupru care aduce un aport suplimentar de cupru in vergea. In acest caz, compozitia pulberea aliata introdusa in vergea va avea o alta compozitie, iar elementele de aliere vor fi in cantitate mai mare, in functie de capacitatea de indesare a pulberii in vergea.

Cunoscand ca densitatea cuprului este de $8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 8920.000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 8920 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} = 8,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, aportul suplimentar de cupru introdus datorita tevii va fi de:

$$M_{teva} = V_{teava} \times \rho_{\text{cupru}}$$

$$M_{teva} = 0,0022 \times 8920 = 19,62 \text{ g}$$

Tinem cont ca densitate aparenta a pulberii este de - $3,8 \div 4,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, iar in cazul vibrarii se poate ajunge la $5,5 - 6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 5500 - 6000 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$.

Masa interiorului vergelei cu pulbere va fi de:

$$M_{interior} = V_{interior} \times \rho_{\text{amestec}}$$

$$M_{interior} = 0,0028 \times 6000 = 16,8 \text{ g}$$

Masa totala a electrodului va fi de: $19,62 + 16,8 = 36,42 \text{ g}$

Deci electrodul, va trebui, pentru a respecta reteta, sa contina urmatoarele cantitati:

$$\text{Cu} = 79\% \times 36,42 = 28,77 \text{ g};$$

$$\text{Al} = 10\% \times 36,42 = 3,64 \text{ g};$$

$$\text{Fe} = 5\% \times 36,42 = 1,82 \text{ g};$$

$$\text{Ni} = 5\% \times 36,42 = 1,82 \text{ g};$$

$$Mn = 1\% \times 36,42 = 0,36 \text{ g};$$

Deoarece cantitatea de Cu din teava este de 19,62 g in pulberea introdusa in vergea vom mai avea: $28,77 - 19,62 = 9,15 \text{ g}$ de Cu.

Pentru a compensa pierderile care au loc prin ardere vom introduce suplimentar:

$$\text{Cu: } 9,15 \times 0,015 = 0,137 \text{ g}$$

$$\text{Al: } 3,64 \times 0,03 = 0,11 \text{ g}$$

Deci compozitia aliajului de pulbere de bronz pentru introducerea in teava de cupru va avea cantitatile:

$$\text{Cu} = 9,15 + 0,137 = 9,287 \text{ g};$$

$$\text{Al} = 3,64 + 0,11 = 3,75 \text{ g};$$

$$\text{Fe} = 1,82 \text{ g};$$

$$\text{Ni} = 1,82 \text{ g};$$

$$\text{Mn} = 0,36 \text{ g};$$

Masa totala va fi in acest caz de 17,04 g

Deci compozitia procentuala a noului aliaj de pulbere va fi:

$$\text{Cu} = \frac{9,287}{17,04} \cdot 100 = 54,50\%$$

$$\text{Al} = \frac{3,75}{17,04} \cdot 100 = 22\%$$

$$\text{Fe} = \frac{1,82}{17,04} \cdot 100 = 10,68\%$$

$$\text{Ni} = \frac{1,82}{17,04} \cdot 100 = 10,68\%$$

$$\text{Mn} = \frac{0,36}{17,04} \cdot 100 = 2,11\%$$

Al, in %	Fe, in %	Ni, in %	Mn, in %	Cu, in % rest	Impuritati, in % max				
					Total	Pb	Sn	Zn	Si
22	10,68	10,68	2,11	54,5	≤0,5	0,3	0,3	0,3	0,1

Pulberea de aliaj de bronzcu reteta specificata, trebuie sa aiba urmatoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulata;
- calitatea suprafetei granulelor – rugoasa cu suprafata specifica mare;

- repartitie granulometrica - $< 0,2 \text{ mm}$;
- densitate aparenta - $3,8 \div 4,2 \text{ g/cm}^3$;
- capacitatea de curgere – $15 \div 18 \text{ s/50 g}$;
- compozitia chimica – Cu, min 99,3%; impuritati, max 0,1%; O_2 , max 0,3%;

b) Omogenizarea amestecurilor de pulberi

Omogenizarea are rolul de a dispersa, pana la limita extrema a acestui proces, particulele pulverulente ale diferitelor componente ai amestecului de pulberi. Prin amestecarea pulberilor de forme, marimi si densitati diferite, trebuie sa rezulte un amestec omogen, care sa-si mentina caracteristicile in timpul manipularii si sinterizarii.

Amestecul de pulberi se prepara amestecand diferitele cantitati de pulberi, conform retetelor prestabilite.

1.1.6. ELABORAREA RETETELOR - METODOLOGIA DE CALCUL PRIVIND PRODUCEREA REȚETELOR DE FABRICARE A ELECTROZILOR CU ÎNVELIȘ COMPOZIT

Electrodul pentru reconditionarea elicelor navale este alcătuit din: vergea (miez), fabricată din pulbere de bronz cu aluminiu și învelișul electrodului.

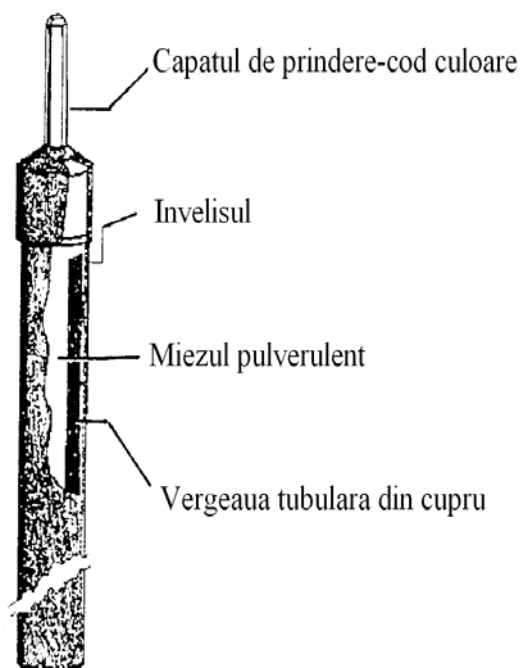


Fig. 1.15. Compozitia eletrozilor tubulari cu miez din pulbere de Cu - Al înveliti

- **Capatul de prindere- cod culoare:** dimensiune 50 mm pe lungime.

- **Vergea** este din teava de Cu Φ 4,76; 6; 8 mm cu grosimea peretelui de 1 mm pentru fiecare diametru, si lungime de 350 mm.

- **Invelisul electrodului** cuprinde compozitiile chimice ale pulberilor utilizate la invelisul electrozilor de CuAl10 cu diametrul de Φ 4 mm, de Φ 4,76 mm, Φ 6 mm, Φ 8mm

1.1.6.1 Rețete de fabricare a învelișului electrodului

Electrodul destinat recondiționării elicelor navale este alcătuit din: vergea (miez), fabricată din bronz cu aluminiu și învelișul electrodului depus prin extruziune în stare umedă pe vergea la o presiune de 100 - 200 bar.

Pentru electrozii CuAl 8 – 10,7% , bazați și pe experiența teoretică și practică anterioară, se preconizează realizarea unui înveliș caracterizat astfel :

- Sub aspect tehnologic masa de înveliș trebuie să fie plastică și este constituită din:
 - 8 - 12 % plastifianți (grafit, talc, alb de titan);
 - liant (10 – 14 % gr., silicat de sodiu cu modul de $\approx 2,5$);
 - presiuni de extrudare 100 - 200 bar;
 - calcinare la 350 °C;
 - coeficient de dozare volumetrică $k = 96 \%$.
- Sub aspectul formării zgurii în arcul electric;
 - înveliș cu caracter dezoxidant (33 % gr., substanțe dezoxidante)
 - generatori de gaze protectoare (28 % gr.)
 - substanțe mineralizatoare (54 % gr., criolit, fluorină, borați, silicați alcalini, etc.).

-sistemul zgurifiant este ionizant, ușor fuzibil, are tensiune superficială și vâscozitate medie în intervalul temperaturilor de încărcare.

- **Invelisul electrodului** are compoziția conform tabelului 14 care cuprinde compozitiile chimice procentuale ale pulberilor utilizate la invelisul electrozilor de CuAl10 cu diametrul de Φ 4 mm, iar in tabelul 15 sunt redate compozitiile chimice ale pulberilor utilizate la invelisul electrozilor de CuAl10 cu diametrul de Φ 4,76 mm, Φ 6 mm, Φ 8mm.

Masa de înveliș conține pulberi de diferite granulații având în compoziție:

- plastifianți (grafit, talc, alb de titan);
- liant (silicat de sodiu, diluat cu apă);
- substanțe dezoxidante;

- generatori de gaze protectoare;
- substanțe mineralizatoare (criolit, fluorină, borați, silicați alcalini etc.).

Fenomene de aglomerare ale pulberilor în electrozii cu înveliș apar mai ales în decursul fabricării învelișului și pot determina neomogenitate compozițională. La fabricarea vergelei de electrod, care este obținută prin sinterizare, fenomenele de aglomerare sunt mai puțin prezente deoarece pulberile metalice prezintă o tendință spre aglomerare mai redusă datorită faptului că sunt metalice și se descarcă electrostatic ușor.

Tabelul 1.14

Compoziția chimică a pulberilor, [%]	
Ferobor	2
Feromangan	5
Fluorina	20
Marmura	18
Grafit	2
Criolit	16
Frita borica	6
CuAl10	30
Silicat de sodiu	1

Tabelul 1.15

Compoziția chimică a pulberilor, [%]	
Fluorina	20
Marmura	20
Criolit	18
Grafit	4
Borax	10
Cuart	4
Feromangan	10
Ferobor	4
Silicat de sodiu	10

Grosimea invelisului electrodului 1 mm.

- **Miezul pulverulent** utilizat este Pulbere de CuSn cu compoziția chimică din tabelul 1.16:

Tabelul 1.16

Al	Fe	Ni	Mn	Cu, rest
%				
8 ... 10,7	4 ... 6	4 ... 6,5	≤ 1,5	

1.1.6.2. Calculul sistemului zgurifiant

1.1.6.2.1 Sistemele zgurifiante folosite pentru electrozii de bronz

În procesul de sudare, din cauza diferenței de densitate și miscibilitate a compusilor care formează prin participarea componentelor de înveliș la reacțiile din arc se separă

zgura. Aceasta este alcatuita din oxizi sau saruri complexe (de tipul silicasilor, aluminatilor, titanatilor, feritilor etc.)

Zgurile de sudare sunt sisteme cu mai multi componentii. Deoarece construirea diagramelor chimice ale sistemelor cu mai multi componentii intampina dificultati deosebite, in practica se utilizeaza sistemele cu doi si trei componentii. Pentru aceasta, se exclud componentii pe care ii contin zgurile in cantitati mici sau a caror influenta asupra proprietatilor zgurilor se considera slaba.

In functie de compozitia zgurilor de sudare, ele pot fi impartite in trei grupe:

- zguri formate din oxizi;
- zguri formate din saruri;
- zguri mixte.

Oxizii metalici intra in componenta zgurilor rezultate la sudarea otelurilor. Sarurile, componente ale zgurii, sunt fluorurile si clorurile de metal. Ca urmare a activitatii lor chimice reduse, aceste zguri se folosesc la sudarea aluminiului, titanului si a altor metale chimic active. Zgurile mixte constau din fluoruri si oxizi de metal stabili. Acestea se folosesc in special la sudarea otelurilor inalt aliate.

Cateva din principalele sisteme zgurifiante sunt:

- tipul zgurilor formate din oxizi: $MnO-SiO_2$; $CaO-SiO_2$; $FeO-MnO-SiO_2$; $MnO-CaO-SiO_2$; $CaO-Al_2O_3$; $CaO-Al_2O_3-SiO_2$; TiO_2-SiO_2-MnO .
- tipul zgurilor formate din saruri: CaF_2-BaCl_2-NaF ; $KCl-NaCl-BaCl_2$; $KCl-NaCl-Na_3AlF_6$; $KCl-NaCl-LiCl$.
- tipul zgurilor mixte: $CaF_2-Al_2O_3$; CaF_2-CaO ; $CaF_2-CaO-Al_2O_3$.

Compozitia zgurii influenteaza desfasurarea procesului tehnologic de sudare. Cei mai importanti oxizi care formeaza zgura CaO , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 au temperaturi de topire destul de ridicate, dar amestecurile lor formeaza sisteme relativ usor fuzibile.

Oxizii principali care determina natura chimica a zgurilor de sudare sunt bioxidul de siliciu si oxidul de calciu. Excesul de bioxid de siliciu imprima un caracter acid zgurilor, iar excesul de oxid de calciu imprima un caracter bazic. Tot proprietati bazice prezinta oxizii MgO si FeO (alumina are caracter amfoter).

La sudarea cu electrozi speciali inalt aliatii, zgurile contin si oxizi de crom, nichel, vanadiu, titan si alte metale. Succesiunea rapida a transformarilor permite posibilitatea coexistentei in zguri a oxizilor inferiori, intermediari si superiori ai aceluasi metal (CrO si Cr_2O_3 , V_2O_3 , VO_3 si V_2O_5 , TiO , Ti_2O_3 si TiO_2 , etc). In functie de particularitatile tehnologice ale procesului (invelis oxidant sau reductor, intensitatea curentului de sudare, polaritate,

etc) pot predomina în unele cazuri oxizi superiori sau intermediari, iar în alte cazuri oxizii inferiori.

Oxizii superiori sunt de natura acida, iar cei inferiori de natura bazica.

Zgurile sunt bogate în oxizi de fier și prin aceasta ele sunt saturate în oxigen, putând provoca reacții de oxidare la interfața zgura metal. Dacă zgurile au un conținut redus de fier, și intra în contact cu o zonă de reacție saturată în oxigen, dezoxidează metalul. Datorită acestui fapt, zgurile se împart în două grupe: oxidante (având un conținut mare de oxid de fier) și dezoxidante (cu concentrații mici de FeO).

1.1.6.2.2 Elaborarea unor rețete de fluxuri aglomerate pentru sudarea cuprului pe baza sistemelor oxidice zgurifiante alese

Pe baza sistemelor oxidice studiate și a materiilor prime oxidice propuse în vederea experimentărilor s-au elaborat patru sisteme oxidice zgurifiante de bază complexe.

Primul sistem oxidic zgurifiant de bază a cuprins oxizii: MgO; CaF₂; Al₂O₃; SiO₂; B₂O₃.

Al doilea sistem oxidic zgurifiant de bază a cuprins oxizii: MgO; CaF₂; Al₂O₃; SiO₂; BaO; B₂O₃.

Al treilea sistem oxidic zgurifiant de bază a cuprins oxizii: Al₂O₃; CaF₂; SiO₂; BaO; B₂O₃.

Al patrulea sistem oxidic zgurifiant de bază a cuprins oxizii: CaF₂; SiO₂; BaO; B₂O₃.

Pe baza acestor sisteme oxidice alese s-au elaborat câte trei rețete în cadrul fiecărui sistem.

Sistemul oxidic zgurifiant de bază : Al₂O₃ - CaF₂ - SiO₂ – BaO - B₂O₃.

Oxizii componenti au fost introduși în rețetele elaborate în cadrul acestui sistem oxidic zgurifiant prin intermediul materiilor prime aferente, astfel: magnezita calcinată pentru oxidul de magneziu; fluorina tehnică pentru fluorura de calciu; alumina calcinată tehnică pentru oxidul de aluminiu; făina de cuarț pentru oxidul de siliciu; frita borica pentru oxidul de bor.

Componentele rețetelor au fost introduse în seria de rețete elaborate în proporții procentuale masice. Magnezita a fost variată în limitele 11 - 27 %; alumina între limitele 10 – 17 %; fluorina între limitele 23 – 24 %; făina de cuarț între limitele 6 – 8 %; frita borica între limitele 8 – 10 %.

În rețetele acestui sistem oxidic zgurifiant s-au mai introdus: sare de bucătărie până la 10 %; hexafluosilicat de sodiu până la 5 %; mangan metalic până la 5 %; feromangan afanat până la 2 %; ferosiliciu 45 până la 2 % și grafit până la 1 %.

Sistemul oxidic zgurifiant $\text{MgO} - \text{CaF}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3$.

Acest sistem oxidic zgurifiant contine in plus fata de sistemul oxidic zgurifiant precedent oxid de bariu.

Oxidul de bariu s-a introdus in reteta sub forma de carbonat de bariu tehnic.

Componentele din retete s-au dozat in procente masice.

Limitele de variatie ale principalelor componente oxidice, in procente masice au fost pentru: magnezita 8 – 16 %; alumina 8 – 16 %; fluorina 10 – 23 %; faina de cuarț 4 - 8 %; carbonat de bariu 2 – 6 %; frita borica pana la 11%.

Alaturi de materiile prime oxidice de baza, in compozitia retetelor s-au mai introdus: hexafluosilicat de sodiu 5 – 8 %; mangan metalic 3 – 7 %; feromangan afanat 1 - 3%; ferosiliciu pana la 2 %; sare de bucatarie pana la 11 %; grafit 1 – 2 %.

Sistemul oxidic zgurifiant $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaF}_2 - \text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3$.

In acest sistem oxidic zgurifiant de baza s-a eliminat oxidul de magneziu fata de celelalte doua sisteme oxidice zgurifiante. Componentele oxidice s-au introdus in retete in procente masice.

Limitele de variatie ale principalelor componente oxidice in procente masice au fost pentru: alumina calcinata tehnica 3 – 8 %; fluorina 18 – 23 %; faina de cuarț 3 – 9 %; carbonat de bariu tehnic 7 – 11 %; frita borica 11 – 15 %. In afara de materiile prime oxidice de baza, in componenta retetelor, s-au mai introdus: concentrat wollastonitic 3 – 6 %; sare de bucatarie 11 – 14 %; hexafluosilicat de sodiu 6 – 9 %; mangan metalic pana la 7 %; feromangan afanat pana la 2 %; ferosiliciu 45 pana la 2 % si grafit pana la 2 %.

Sistemul oxidic zgurifiant $\text{CaF}_2 - \text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{B}_2\text{O}_3$.

Acest sistem oxidic zgurifiant de baza contine numai patru oxizi. Fata de celelalte sisteme oxidice zgurifiante luate in analiza acest sistem oxidic nu contine oxid de aluminiu si de magneziu .

Componentele oxidice s- au introdus in retete in procente masice.

Limitele de variatie a principalelor componente oxidice, in procente masice au fost pentru: fluorina tehnica 19 – 23 %; faina de cuarț 6 – 10 %; carbonat de bariu 8 – 12 %; frita borica 12 – 15 %.

Alaturi de materiile prime oxidice de baza, in componenta retetelor, s-au mai introdus: concentrat wollastonitic 4 – 8 %; sare de bucatarie 12 – 17 %; hexafluosilicat 8 – 14 %; mangan metalic pana la 3 %; ferosiliciu 45 pana la 3 % si grafit pana la 2 %.

1.1.6.2.3 Fazele tehnologice de elaborare a retetelor in laborator

Pregatirea materiilor prime

Materiile prime oxidice, înainte de utilizare, trebuie pregătite la granulatia necesara. Cele in bulgari sau granule mai mari de 0,3 mm trebuie supuse macinarii si apoi sortarii pe sita cu diametrul ochiului de 0,3 mm. Este cazul magnezitei, a sarii de bucatarie, carbonatului de bariu, hexafluosilicatului de sodiu, manganului metalic, ferosiliciului si feromanganului. S-au utilizat numai materii prime uscate.

Dozare

Dozarea materiilor prime pulverulente trebuie efectuata prin cantarire cu ajutorul unei balante cu o precizie de ± 5 gr.

Omogenizare

Omogenizarea componentelor dozate trebuie realizata cu o moara de portelan cu bile timp de 20 minute.

Malaxare

Malaxarea trebuie realizata intr-un utilaj de laborator cu doua snekuri in contrasens. Liantul utilizat la malaxare a fost o solutie de silicat de sodiu. Grafitul, dozat conform retetei, trebuie imersionat intr-o parte din liantul utilizat si apoi introdus in amestecul pulverulent omogenizat. Dupa aceea s-a introdus si restul de liant necesar malaxarii.

Granulare

Malaxatul obtinut sub forma omogena trebuie granulat pe o sita rotativa cu ochiurile de $\varnothing 2$ mm in curent de dioxid de carbon.

Uscarea

Faza de uscare a granulelor de flux obtinute trebuie desfasurata intr-un cuptor electric static la o temperatura de 200 °C.

Calcinarea

Faza de calcinare trebuie facuta intr-un cuptor electric la o temperatura de 450 °C timp de doua ore.

Pentru calculul sistemului zgurifiant este necesar să se facă și determinări experimentale care se vor corela cu rezultatele teoretice, (nu s-au făcut determinări experimentale în privința învelișului în această etapă, din acest motiv, cele ce urmează sunt cu titlu de exemplu).

Programul experimental va cuprinde următoarele:

-elaborarea prin extruziune a 10 tipuri de înveliș (de compoziție diferită), pe vergea din aliaj CuSn14%, cu $\varnothing 4$ mm.

-sudarea unor epruvete standard (pentru încercarea îmbinărilor sudate), cu electrozii de diferite compoziții a invelișului realizat, în aceleași condiții de sudare. Cu aceste epruvete se vor face încercări la tracțiune pentru determinarea rezistenței la rupere, curgere și alungire (este mai simplu decât să se facă încercări de aderență) determinarea porozității pe epruvetele sudate.

Sistemele zgurifiante compatibile sudării bronzului, datorită temperaturii lor scăzute de topire (realizate ca eutectice ale unor sisteme polinare) se întâlnesc sub denumirea de fondanți. Acești fondanți, în stare lichidă, asigură o bună protecție băii topite de bronz.

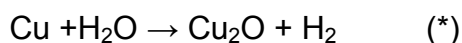
Gazele prezente în bronz formează combinații chimice (oxizi, hidruri, nitruri), soluții solide sau pot constitui incluziuni sub formă de pori în suspensie, apărute mai ales în timpul solidificării.

Combinațiile chimice care se formează se distribuie la marginea grăunților, întrerup legătura dintre ei și provoacă micșorarea rezistenței și a plasticității bronzului. De astfel, combinațiile chimice ale gazelor cu bronzul și elementele de aliere, constituie sursa de bază a impurificării topiturii cu incluziuni nemetalice.

Solubilitatea gazelor în bronz este o consecință a procesului de difuzie și este influențată de proprietățile fizico-chimice ale metalului cu care gazele pot forma combinații chimice sau soluții solide. La micșorarea temperaturii, gazele din metalul topit se elimină datorită micșorării solubilității lor și pot manifesta o influență dăunătoare asupra procesului de cristalizare a metalului.

Oxidarea bronzului începe cu o absorbție rapidă a oxigenului din aer, pe măsura dizolvării Cu_2O în metal, pe urmă absorbția se reduce ca urmare a saturării bronzului în oxigen.

Bronzul topit reacționează astfel cu unele gaze:

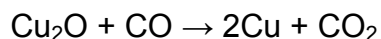
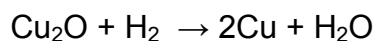


În cazul reacției (*) apare „boala de hidrogen” reacția reversibilă (**) poate fi favorabilă dezoxidării bronzului (pentru conținuturi de max.0,3% Cu_2O) și defavorabilă pentru Cu_2O cuprins între 0,3-0,5%.

Pentru cupru și aliajele sale este cunoscută tendința de a dizolva gaze, pentru cercetările întreprinse interesând mai ales următoarele două situații:

- dizolvarea oxigenului, cu formarea la $T \geq 550^\circ\text{C}$ a eutecticului Cu-CuO_2 ,

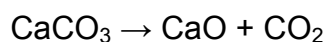
corespunzător unui conținut de 0,386% O₂. La răcire, eutecticul se solidifică (T = 1065°C) la limita de separare a cristalitelor, favorizând fragilitatea la cald a materialului. Prezența oxigenului în metalul topit, chiar în cantități scăzute (0,01%) atrage după sine solubilizarea hidrogenului și a monoxidului de carbon, datorită următoarelor transformări chimice:



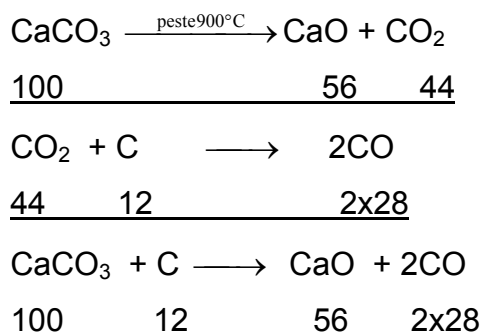
- vaporii de apă formați sau CO₂ rămân în piese sub formă de goluri, defecte ce constituie amorse de fisurație și de cristalizare grobă, în ambele situații rezistențele mecanice ale metalului depus scăzând semnificativ.

- **Determinarea raportului optim grafit-marmură: (generator de gaze protectoare)**

Carbonatul de calciu (CaCO₃.marmură). Carbonatul de calciu se găsește în natură cel mai adesea sub formă de calcar și marmură. Marmura este carbonat de calciu cristalizat. Carbonatul de calciu este greu solubil în apă, în prezența dioxidului de carbon (CO₂) solubilitatea crește mult. Carbonatul de calciu la încălzire se descompune în oxid de calciu și dioxid de carbon:



Această reacție de descompunere începe la 680 °C și la 900 °C este foarte intensă. La baza acestei cercetări a stat următoarea reacție de cinetică chimică, caracteristică arcului electric:



Cifrele înscrise dedesubt indică raporturile stochiometrice în cazul acestor transformări chimice și permit calcularea raportului teoretic grafit/marmură care să favorizeze trecerea integrală a grafitului în monoxid de carbon.

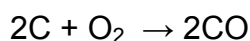
$$\delta = \frac{\text{grafit}}{\text{marmura}} = \frac{12}{100} = 0,12 \text{ (raport teoretic)}$$

Pentru valorile:

$$\delta > 0,12 \text{ coexistă amestecul CO + C}$$

$$\delta < 0,12 \text{ coexistă amestecul CO + CO}_2$$

Valorile raportului δ folosit sunt prezentate în funcție de punctajul porozității. Există un interval optim, asimetric dispus față de valoarea teoretică $\delta = 0,12$ și deplasat în domeniul $\delta > 0,12$ în care coexistă amestecul CO+C (mediul cu caracterul cel mai reducător). Explicația constă în aceea că Grafitul liber (insolubil în aliajele cuprului) are rolul, în anumite limite, de compensare a efectului oxidant datorat pătrunderii în arc electric a oxigenului din atmosferă, neutralizându-l după ecuația:



Intervalul optim al raportului grafit-marmură este $\Delta = 0,117 - 0,155$, interval pentru care se obțin și cele mai ridicate valori ale rezistențelor mecanice R_m .

- **Determinarea conținutului optim grafit+marmură**

Astfel se poate face o estimare a procentajului optim $A = \text{grafit} + \text{marmură}$, necesar unei bune protecții a metalului topit. Dacă datele nu sunt comparabile (pentru aceiași valoare a vergelelor de $\phi 4$ mm întrebuintându-se învelișuri cu grosimi dintre $\phi 5,5 - 6,2$ mm) se introduce o corecție, suma maselor grafit+marmură fiind înmulțită cu coeficientul raportului volumetric de învelire K :

$$K = \frac{D_{\text{invelis}}^2 - d_{\text{vergea}}^2}{d_{\text{vergea}}^2} \cdot 100$$

Cantitatea optimă de substanțe generatoare de gaze protectoare a băii, este cuprinsă în general între $A = 27 - 32 \%$ (pentru un coeficient al raportului volumetric de învelire K de 100%).

În afara porozității ridicate și o pronunțată tendință de fisurație, rezistențele la tracțiune (mecanice) mici arată o comportare a învelișului necorespunzătoare.

- **Determinarea conținutului optim de frită borică**

O altă direcție a cercetărilor și experimentărilor în vederea definitivării rețetei de înveliș o constituie determinarea conținutului optim de frită borică în masa de învelire. Menționăm că frita borică folosită în cadrul sistemului zgurifiant este recomandată de unele caracteristici, dintre care menționăm:

- capacitatea deosebită de dizolvare a oxizilor metalici în special Cu_2O , asigurând o rafinare corespunzătoare a băii de metal topit;
- prin ioni alcalini introduși favorizează ionizarea arcului electric;

➤ temperatura de topire scăzută (800 °C) îl recomandă drept componentă fondantă în cadrul unui sistem zgurifiant (caracteristică importantă pentru bronzurile de staniu care au temperaturi de topire cu 300-400 °C mai scăzute decât oțelurile);

➤ în timpul topirii în arcul electric, boraxul se evaporă masiv, antrenând o cantitate egală de apă, corespunzător raportului din formula chimică a boraxului cristalizat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{ H}_2\text{O}$). Această caracteristică este deosebit de importantă pentru aliajele neferoase, cunoscută fiind aviditatea acestora față de hidrogen „ boala de hidrogen ” și reprezintă principalul motiv al introducerii acestei materii prime în rețetele de înveliș.

➤ Boraxul are capacitatea de a dizolva unele gaze, spre exemplu 1 mol. borax poate solubiliza până la 1 mol CO_2 , caracteristică, deosebit de importantă pentru rafinarea aliajelor de cupru cunoscute pentru tendința lor de a dizolva bioxidul de carbon (care favorizează porozitatea).

Dintre neajunsurile, datorate boraxului specificăm:

❖ vâscozitatea zgurii crește proporțional cu creșterea conținutului în borax, peste anumite limite înrăutățind comportarea la sudare;

❖ la concentrații mari (peste 30 %) tensiunea superficială a zgurii determină trecerea în picături foarte mari ($\varnothing > 3\text{mm}$) a aliajului topit în baia de sudură.

În vederea determinării cantitative a efectului fritei borică asupra sistemului zgurifiant, se folosesc variantele având $\delta = 0,11-0,165$, adică valori în jurul intervalului Δ optim. Drept criteriu de estimare a performanțelor acestor variante se ia valoarea R_m determinată pe epruvete prelevate din materialul depus din aceste variante, valorile fiind reprezentate grafic în funcție de conținutul de frită borică al acestor învelișuri (fig. 1.16.)

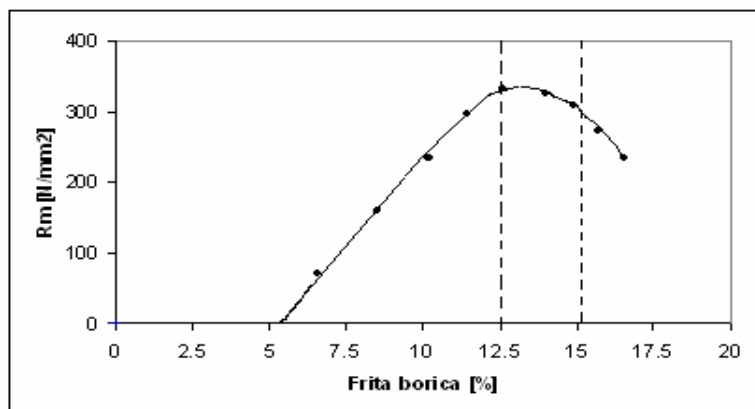


Fig. 1.16. Variația rezistenței la rupere în funcție de conținutul de frită borică

Diagrama din figura 1.16. confirmă existența corelației între R_m și conținutul de frită borică, evidențiind, prin maximul descris, existența unei concentrații optime a fritei borice cuprinse între $B = 12,5 - 15 \%$ (în cazul unui raport volumetric de înveliș $K = 100 \%$).

În sprijinul interpretărilor prezentate mai sus, subliniem și faptul că metalul depus cu variantele elaborate trebuie să aibă o compoziție chimică asemănătoare, la aceiași tehnologie de sudare. Ca urmare, acești principali factori perturbatori au fost considerați ca fiind constante în cadrul cercetării. Aceiași observație se impune și pentru componentele maselor de înveliș utilizate, variantele diferând între ele doar prin dozarea cantitativă a aceluiași materii prime.

Ca atare, valabilitatea observațiilor cantitative, făcute mai sus se referă doar la sistemul zgurifiant folosit, în condițiile utilizării aceleiași tehnologii de sudare.

- **Coefficienții de trecere ai elementelor de aliere**

Deoarece compoziția chimică a vergelelor corespunde compoziției chimice dorite pentru metalul depus, definitivarea mărcii de electrozi nu necesită o aliere înaltă din înveliș. Aceasta și din cauză că Al are temperatură foarte joasă de topire și vaporizare, deci nu se poate face aliere din înveliș sub formă de pulbere de aluminiu.

Formulele de calcul pentru cei doi coeficienți folosiți sunt următoarele:

Coeficient de trecere – $T \%$

Coeficient de aliere – $A \%$

$$T(\%) = \frac{Z \% \text{ din metalul depus}}{\frac{A_{gr. elem. din vergea} + B_{gr. elem. din invelis}}{V_{gr. vergea} + B_{gr. elem. din invelis}} \cdot 100} \cdot 100$$

și

$$A(\%) = \frac{Z \% \text{ din metalul depus}}{\frac{A_{gr. elem. din vergea} + B_{gr. elem. din invelis}}{V_{gr. vergea} + \sum_{E=B}^N E_{gr. toate elem. din invelis}}} \cdot 100$$

- **Determinarea caracterului învelișului**

În scopul obținerii unor matrici pure, cu performanțe ridicate, se utilizează un înveliș de tip criolitic cu caracter bazic. Bazicitatea învelișului se determină cu relația lui Boniszewski:

$$B_B = \frac{\sum \text{oxiziibazici}}{\sum \text{oxiziiaacizi}}$$

Pentru : $B_B < 1$ caracter acid; $B_B = 1-1,2$ caracter neutru; $B_B > 1$ caracter bazic

De exemplu o bazicitate a învelișului de : $B_B \approx 2,2$, rezultă în urma calcului :

$$B_B = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \frac{1}{2} (\text{MnO} + \text{Fe}) / \text{SiO}_2 + \frac{1}{2} (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}).$$

1.1.6.3. Fabricarea vergelei de electrod

Vergeaua electrodului este din bronz cu aluminiu 8-10,7% Al, aliaj care se regăsește după depunere în strat, dar la o altă concentrație a elementelor de aliere datorită arderilor în arcul electric sau în flacără la depunere. Dimensiunile vergelei electrodului sunt: diametrul $\varnothing=4-8$ mm, lungimea 350 mm (mai multe sorturi dimensionale).

1.1.6.3.1. Elaborarea vergelei pentru electrod

Pentru electrozii CuAl 8-10,7%, bazați și pe experiența teoretică și practică anterioară, se preconizează realizarea unei vergele de electrod:

- Compoziția chimică; 8-10,7% Al, 4-6% Fe, 4-6,5 Ni, $\text{Mn} \leq 1,5\%$, rest Cu. Fosforul trebuie să fie sub 0,05 %, pentru o aderență bună la substratul de oțel pe care se depune;
- Proprietăți mecanice: la fel ca la un aliaj CuAl 8-10,7% turnat
($R_m = 540 - 640 \text{ N/mm}^2$; $A = 10-11\%$; 120 HB);
- $\varnothing=4-8$ mm; lungime 350(400)mm; abatere 0,08mm pe diametru;
- Posibilitatea de automatizare a fabricației vergelelor;

1.1.6.3.2. Elaborarea vergelei electrod prin procedee ale metalurgiei pulberilor

- **Variante tehnologice de elaborare a vergelei electrod :**

➤ **Elaborarea prin turnare.**

Nu se va experimenta această variantă deoarece se cer precizii dimensionale ridicate (abatere 0,08 mm pe diametru).

➤ **Elaborare prin extrudarea sau laminarea pulberilor.**

Realizarea pulberii conform retetei s-a efectuat în capitolul 2.1.5.2.

Există mai multe variante de extrudare, dar majoritatea pot fi grupate în două categorii și anume:

-pulberile sunt amestecate cu un liant sau plastifiant și extrudate la temperatura mediului ambiant (la rece);

-pulberile sunt extrudate fără nici un adaos la temperaturi ridicate (la cald).

Deși produsul are o compactitate aproape de 100%, este foarte fragil putând fi ușor fărâmițat. Liantul sau plastifiantul vor da o oarecare rezistență produsului, suficientă pentru a face față manevrărilor între cele două faze extrudarea și sinterizarea.

Pentru obținerea vergelelor din bronz cu 8-10,7% Al prin extrudarea pulberilor la cald, fără adaos de liant, se poate alege unul din cele două procedee prin care:

- pulberile sunt compactizate prin metode obișnuite ale metalurgiei pulberilor (presare și sinterizare, presare la cald) în lingouri, după care acestea sunt încălzite și extrudate prin tehnici similare celor utilizate la extrudarea metalelor de aceeași natura, compacte;

- pulberile sunt ambalate într-un înveliș din tablă de cupru cu care se încălzește și se extrudează.

Nu se optează pentru procedeele de laminare sau extrudare a pulberilor, deoarece produsul nu se pretează la manevre ulterioare și în plus datorită proprietăților mecanice intrinseci ale materialului ($R_m = 540 - 640 \text{ N/mm}^2$; $A = 10-11\%$; 120 HB).

Chiar și folosirea unor pulberi ductile de cupru sau aluminiu în compoziție, nu rezolvă problema forjării sau trefilării acestor electrozi.

➤ **Elaborarea vergelelor tubulare pentru electrozi**

Teoretic se pot folosi două variante :

a) Se folosește un amestec de pulbere de cupru și aluminiu într-un astfel de raport încât să se considere și aportul de cupru la compoziție din tubul de cupru. După umplerea tubului calibrat de cupru cu amestecul de pulberi, acesta se închide la capete, se vibrează pentru compactizarea pulberilor și se sinterizează. Nu se va folosi acest procedeu deoarece apar probleme legate de omogenizarea pulberilor.

b) O altă variantă de obținere a vergelei, care se poate realiza practic, este dată mai jos:

Pulberea CuAl 9 Fe 5 Ni 5 cu granulația integrală sub 400 μm se toarnă liber vărsat în țeavă de cupru cu lungimea de 350 mm și se închide la capete. Se presinterizează țeava de cupru la 940 ° C în atmosferă protectoare.

BIBLIOGRAFIE

1. M.Ienciu, P.Moldovan, N Panait, s.a., Elaborarea si turnarea aliajelor neferoase, Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 1982
2. Palfalvi s.a., Tehnologia materialelor, EDP Bucuresti, 1985.

3. Domsa s.a., Tehnologia fabricarii pieselor din pulberi metalice, ET Bucuresti, 1966.
4. M. Cojocar, Producerea si procesarea pulberilor metalice, Ed. MATRIX ROM, Bucuresti, 1997.
5. C. Gh. Radulescu, Indrumator tehnologic al muncitorilor turnatori, ET Bucuresti, 1981.
6. H.Binchiciu, I.Surgeon, I.E. Popa, R.Iovanas, Incarcarea prin Sudare cu Arcul Electric, Editura Tehnica, Bucuresti, 1992.
7. R. Muresan, - Metalurgia Pulberilor, Editura U.T.Pres, Cluj-Napoca, 2005.
8. D. Dehelean, *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, 1997.
9. S. Gadea, M. Protopopescu, - Aliaje neferoase, Editura Tehnica, Bucuresti, 1965.
10. Vida-Simiti, - Proprietati Tehnologice in Metalurgia Pulberilor, Editura Enciclopedica, Bucuresti, 1999.
11. L.Barzaune, H.Binchiciu, *Materiale de adaos pentru sudarea mecanizată a cuprului*. Studiu. Contract 18/96, poz.B1, IMSR Timasud, Timișoara, 1997.
12. T. Surdeanu, M. Pernes, Piese sinterizate din pulberi metalice, Editura Tehnica, Bucuresti, 1984.
13. G.Zgură, D. Răileanu, L. Scorobețiu, *Tehnologia sudării prin topire*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
14. J. White, K. Mingard, I. Hughes, Aluminium alloys with unique property combinations by spray casting, Powder Metallurgy, vol 37, no 2, pag 129-132, 1994.
15. M. Bibu, Metalografia aliajelor feroase si neferoase, Editura Universitatii Lucian Blaga, Sibiu, 2000
16. G. Zirbo, E. Nagy, E. Riti-Mihoc, Aliaje de aluminiu pentru turnatorie, Editura Dacia, 1998.
17. M.Ienciu, P.Moldovan, N Panait, s.a., Elaborarea si turnarea aliajelor neferoase speciale, Editura didactica si pedagogica, Bucuresti, 1985
18. Institutul roman de standardizare, Culegere de standarde comentate. Pulberi metalice, Bucuresti 1994
19. Hatch, J.E., Aluminium: Properties and Physical Metallurgy, ASM Metals Park, OH, 1984
20. Simensen, C. I., Lauritzen, J.L., Aluminium, Nr.2, 1980
21. ***A III-a conferinta nationala de metalurgia pulberilor, Cluj-Napoca, 1988
22. V. Nicolae, Tehnologia metalelor, Litografia IPCI Cluj-Napoca, vol.II, 1978.
23. *** - Depend on union process attritors –MPR ,48/11,1993,13

24. Benghekov, G.I., Zlobin, G.P.- Novel method of powder compaction, World Conference On Powder Metallurgy Proceedeings, vol. 2, , London, July,1990.
25. S. Berkovits, *Progrese în pulverizarea din fază lichidă a metalelor cu afinitate chimică ridicată față de oxigen*, A treia conferință națională de metalurgie, Cluj-Napoca,1983,
26. C.A. Calow, C.R. Tottle, *The measurement and form of porosity in the loose sintering of copper compacts*, Powder Metallurgy, vol.8, no.15 (1965), p.1-19
27. M. Burger, E.v. Berg, S.H. Cho, A. Schatz, *Fragmentation processes in gas and water atomization plants for process optimization purposes. I. Discussion of the main fragmentation processes*, Powder Metallurgy International, vol.21, no.6, (1989), p.10-14
28. R.I.L. Howells, G.R. Dunstan, C. Moore, *Production of gas atomised metal powders and their major industrial uses*, Powder Metallurgy, 31 (1988), p.259-266
29. Gh. Amza, G.M. Dumitru, V.O. Rîndașu, *Tehnologia materialelor*, vol.1, Editura Tehnică, București, (1997)
30. T. Surdeanu, M. Perneș, *Piese sinterizate din pulberi metalice*, Editura Tehnică, București, (1984)
31. Ionelia Voiculescu, Dan Popa, Analiza straturilor depuse prin sudare cu sirma tubulara la sinele de tramvai, Conferinta Internationala Examination Methods for Welded Structure Components, ISIM Timisoara, 19 – 20 Nov. 2003, 11 pagini, CD.
32. I.E. Anderson, B.B. Rath, Rapid solidification of copper-based alloys, Materials Science and Technology Division, Washington DC 20375 – 5000, USA, (1997)
33. M. Bibu, *Metalografia aliajelor feroase și neferoase*, Editura Universității “Lucian Blaga”, Sibiu, (2000)
34. *** *New Perspectives in Powder Metallurgy. Fundamentals, Methods and Applications*, Vol. 7, Copper Base Powder Metallurgy, Published by Metal Powder Industries Federation Princeton, New Jersey 08540 USA, ISBN 0-918404-47-9, (1980).
35. S. Șontea, M. Mangra, C. Dumitru, D.Tărăță, Gh. Văduvoiu, P. Herscovici, D. Mazilu, I. Pascu, *Metalurgia pulberilor. Tehnologii de lucru și aplicații*, Ed. Universitaria, Craiova, ISBN 973-9271-80-7, (1999).
36. *Characteristics and Properties of cooper and cooper alloy P/M materials*, Technical reports, Powder Metallurgy (1999), www.copper.org
37. *Copper & copper alloy microstructures*, Technical reports, Powder Metallurgy (1999), www.copper.org

38. K. Rzesnitzek, W.A. Kaysser, G.Petzow, *Atomization of Cu-alloys*, PM'90 World Conference on Powder Metallurgy, 2-6 July, 1990, London, vol.2, p.7-10.
39. M. Dombroski, A. Lawley, D.Apelian, *Sintered properties of copper compacts*, J. Powder Metallurgy, vol.28, no.1, (1992), p.27-39.

CERCETĂRI FUNDAMENTALE PRIVIND STAREA DE TENSIUNI LA MONTAJUL ELICEI PE ARBORELE PORT-ELICE

CAP. II. MODELAREA STĂRII DE TENSIUNI ȘI DEFORMĂȚII LA ASAMBLAREA ELICEI PE ARBORELE PORT-ELICE

2.1. Tehnologia de montare a elicei navale

2.1.1. Posibilități de montare.

În prezent în șantierele navale din țara noastră elicea clasică (cu pale fixe) se montează pe conul arborelui port-elice prin mijloace mecanice sau mecano-hidraulice și se demontează asemănător. În procesul montării butucul elicei este împins axial pe conul arborelui realizându-se astfel o strângere care să poată transmite momentul de rotație al motorului principal. Poziția butucului elicei pe conul arborelui este asigurată împotriva rotirii de o pană paralelă. Această metodă de montare a elicei devine cu atât mai greoaie și nesigură cu cât dimensiunile și deci și greutatea elicei sunt mai mari și cu cât este mai mare momentul de rotație și oscilațiile sale.

Majoritatea avariilor care se produc la ansamblul elice – arbore port-elice se datoresc procedului de asamblare cu pană. Astfel, deși s-au racordat muchiile canalului de pană la terminația sa dinspre prova, profilându-se așa zisa lingură, această zonă continuă să introducă concentratori de tensiune care nu pot fi determinați cu precizie și practic nu pot fi înlăturați. Din ansamblul avariilor arborilor portelice, se constată că majoritatea lor s-au produs la extremitatea acestora dinspre pupa, și din acestea, majoritatea rupturilor (70%) se datoresc sau sunt în legătură cu canalul de pană și pana. Aceste statistici sunt consemnate cu scopul de a susține procedeu de montare prin strângere directă a elicelor navale întrucât avantajele acestui procedeu au fost demonstrate. Pe plan mondial, asamblarea pe con cu pană, care se prevedea între elicele navale și arborele port-elice, precum și între cârmă și arborele cârmei (Fig.2.1), tinde a fi înlocuit cu o asamblare cu strângere pe con.

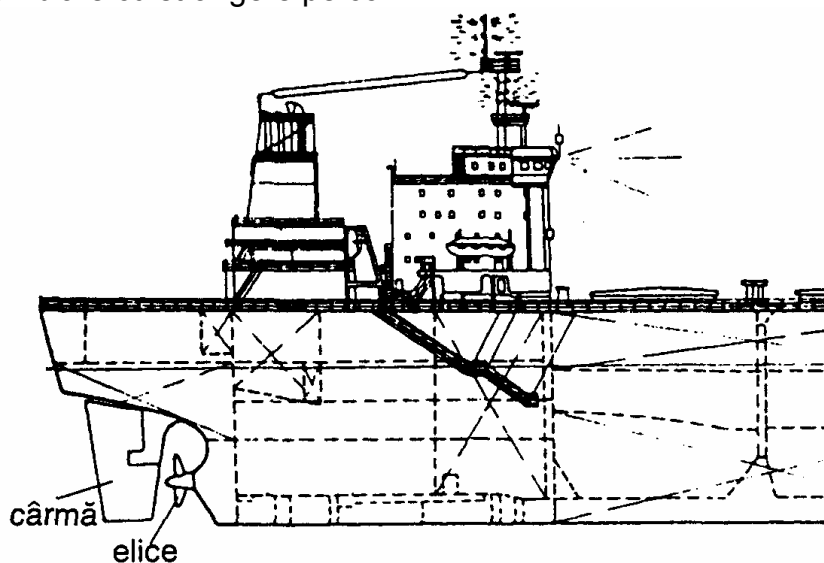


Fig.2.1 Poziția cârmei și a elicei navale.

Asamblările prin strângere directă se pot clasifica după criteriul tehnologic de montaj în:

- Asamblări prin presare longitudinală, realizate prin introducerea forțată a piesei cuprinse în cea cuprinzătoare sau invers, cunoscute sub denumirea de **asamblări presate**;
- Asamblări realizate prin deformația radială a suprafeței de contact, ca rezultat al contracției piesei cuprinzătoare sau al dilatației piesei cuprinse, acestea numindu-se **asamblări fretate**;
- Asamblări realizate prin presare mixtă, la care presarea axială este aplicată în paralele cu deformația radială. Acest mod de montaj se realizează prin folosirea unui fluid sub presiune, de aceea se numește **montaj hidrostatic**. Metoda a fost propusă de firma Zeiss-SKF, iar în anul 1967 a fost montată prin acest procedeu prima elice de mari dimensiuni (diametrul elicei 9150 mm, puterea motorului 30000CP), cu rezultate foarte bune. Metoda de montaj propusă prezintă și marele avantaj că evită imobilizarea navei, în cazul când elicea s-ar deteriora în timpul marșului (în larg), eliminându-se astfel operațiile costisitoare de transport și docare a navei la atelierele de reparații, deoarece ea se poate realiza în apă, la locul avariei. În România, astfel de asamblări au fost realizate de către autori, începând cu anul 1974, la șantierul naval din Galați, Brăila și Oltenița.

Ultimele două tipuri de asamblări au o capacitate portantă de 2-3 ori mai mare, deoarece neregularitățile suprafețelor în context nu se distrug în aceeași măsură ca în primul caz și permit montări și demontări repetate.

Asamblările fretate au dezavantajul că se pot realiza numai prin încălzirea butucului sau subrăcirea arborelui, ceea ce necesită instalații de încălzire sau de subrăcire costisitoare, mai ales în cazul pieselor foarte mari, iar procesul termic conduce la schimbări în structura materialului.

Având în vedere considerentele de mai sus, cea mai convenabilă metodă de montaj rămâne montajul hidrostatic cu ulei sub presiune care conferă următoarele avantaje:

- se poate realiza strângerea dorită între reperele asamblate, cu precizie și ușor controlabilă;
- se asigură garanția transmiterii unor încărcări mari și variabile, datorită reducerii concentratorilor de tensiune ce apar la asamblările cu pene, știfturi, caneluri sau filete;
- se asigură o bună centrare a pieselor asamblate, avantaj deosebit de important mai ales în cazul funcționării la turații mari;
- au cost redus, prin lipsa unor piese și prelucrări suplimentare;
- deplasarea axială pe care o efectuează cârma sau elicea la montaj este mică, deci spațiul de manevră necesar este redus;
- tehnologia de montare și demontare prin presare hidrostatică este foarte comodă și posibil de aplicat subacvatic.

Montarea fără pană a elicei a obținut și girul unor societăți de clasificare cum ar fi: BUREAU VERITAS și DET NORSKE VERITAS, care au prevăzut și reguli de montaj.

2.1.2. Montajul hidrostatic.

În acest caz, montajul se realizează de obicei pe suprafețe de contact ușor conice (conicitatea 1:K cuprinsă între 1:10 și 1:100), prin introducerea în zona de contact a asamblării (Fig.2.2) a uleiului sub presiune care îndepărtează suprafețele și creează un film de lubrifiant pe care deplasarea lor axială se realizează cu forțe mult mai mici (micșorând coeficientul de frecare dintre suprafețe de cca. 5-7 ori față de frecarea uscată). În momentul în care fluidul apare la extremitățile asamblării este asigurată pelicula de

lubrifiant și se poate acționa simultan pentru împingerea butucului sau tragerea arborelui pe o distanță „a” care să asigure strângerea „s” dorită în asamblare ($a = K \cdot s$, K fiind conicitatea zonei de contact). După montaj, alimentarea cu ulei sub presiune este întreruptă, astfel că uleiul din interstiții este trimis înapoi în rezervor, de către presiunea creată între suprafețele în contact, datorită revenirii pieselor din deformația elastică suferită.

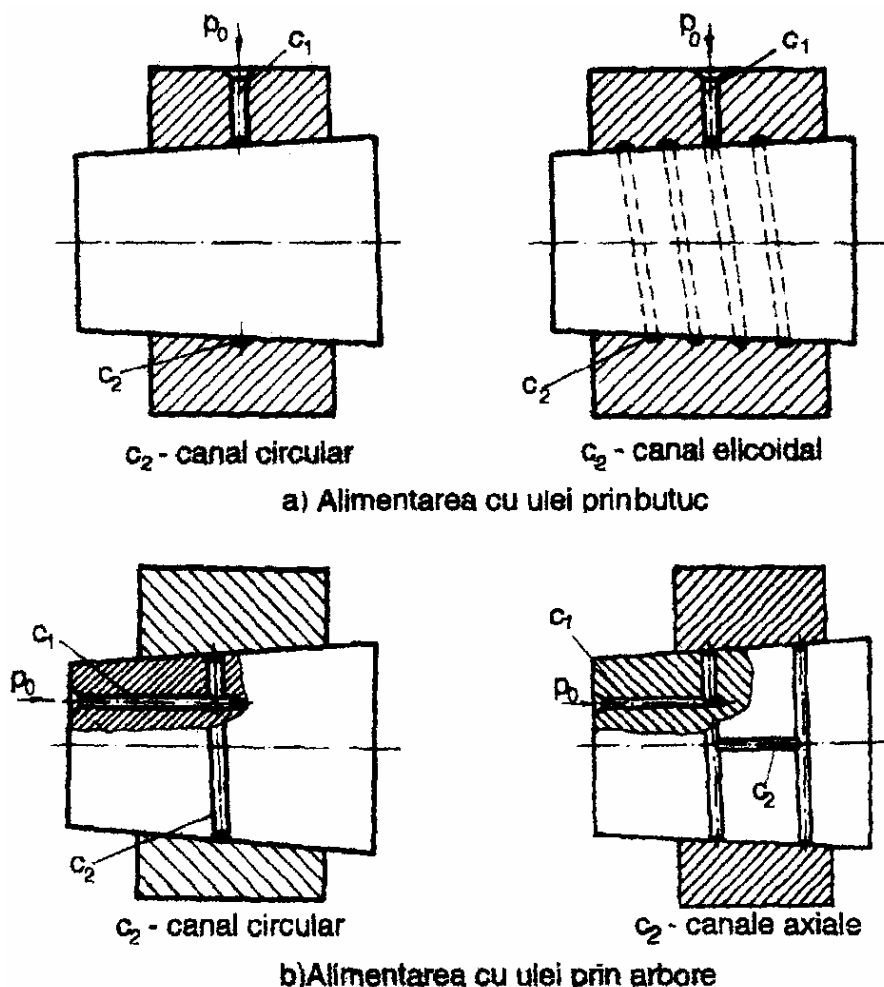


Fig.2.2. Montajul hidrostatic. Canalele de alimentare și de distribuție a uleiului.

Depresarea se realizează în mod asemănător, prin introducerea uleiului la o presiune puțin mai mare decât la montare, iar în momentul realizării filmului de lubrifianț între suprafețe, butucul se desprinde de la sine de conul arborelui, datorită componente axiale a forței normale la suprafața de contact.

Introducerea uleiului în zona de contact se realizează prin unul sau mai multe canale de alimentare c_1 , figura 2, practicate în butuc (Fig.2 a) sau în arbore (Fig.2. b), iar distribuția uleiului în lungul suprafeței de contact se realizează prin canale elicoidale sau circulare de distribuție c_2 , canale care se execută în piesa asamblării prin care s-a prevăzut alimentarea.

În vederea obținerii unei distribuții cât mai uniforme a presiunii de dilatare pe suprafața de contact la montaj, orificiul de alimentare se recomandă să se execute pe cât posibil spre mijlocul asamblării. La asamblări de lungime mare ($L = 2d$), se recomandă practicarea a două orificii de alimentare executate la cca. 1/3 de capetele asamblării.

Canalele de distribuție au rolul de a uniformiza repartiția presiunii de ulei pe suprafața de contact, presiune care scade către extremități (Fig.2.3) la montaj, realizându-se astfel o etanșare naturală a spațiului de presiune.

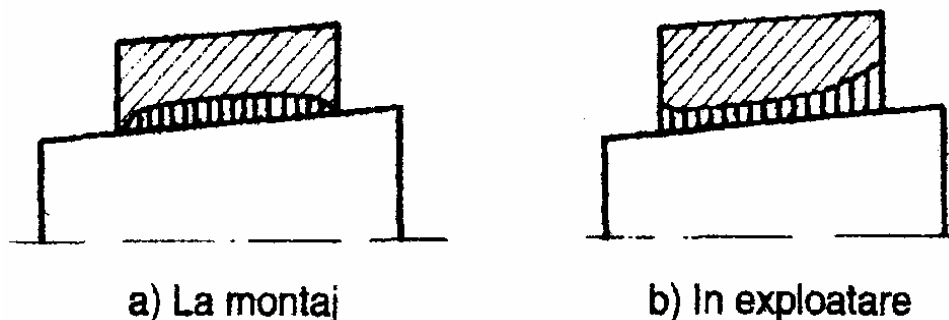


Fig.2.3. Distribuția de presiuni pe suprafața de contact.

În cazul elicei (Fig.2.4), capătul de arbore se continuă cu o parte filetată pe care se montează o piuliță 7, care servește atât la montare pentru sprijinul preseii axiale inelare 9, ce dezvoltă forța axială necesară în timpul asamblării, cât și la demontare, când datorită forței de respingere ce apare la contactul suprafețelor, elicea are un recul iar piulița evită căderea ei de pe arbore.

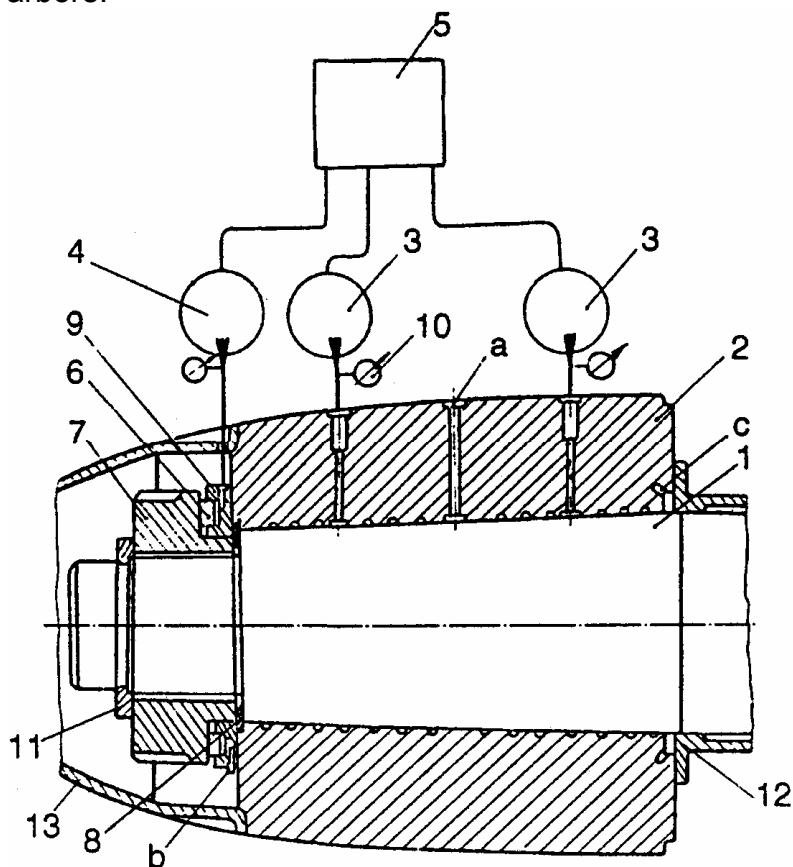


Fig.2.4. Elice navală montată cu ulei sub presiune:

1-arbore portelice; 2- butucul elicei; 3- pompă de ulei de înaltă presiune; 4- pompă de ulei de medie presiune; 5- rezervor de ulei; 6- piston inelar; 7- piuliță; 8- inel distanțier; 9- presă axială inelară; 10- manometru; 11- șaibă de siguranță; 12- opritor; 13- coafă; a, b– canale de aerisire; c- canal de descărcare a tensiunilor din butucul elicei.

Montarea și demontarea subacvatică se realizează cu ajutorul a doi scafandri. Pentru demontarea elicei avariate se procedează mai întâi la demontarea coafei 13, apoi la

slăbirea piuliței 7 cu câteva spire și racordarea conductei de alimentare cu ulei 3 sub presiune înaltă (700-900 bari) la orificiile de alimentare a elicei.

Trimițând ulei pe suprafața de contact, elicea 2 se va desprinde cu un ușor șoc de pe conul arborelui, reculul ei fiind amortizat de presa inelară 9 aflată în spatele piuliței de siguranță. Se demontează apoi piulița 7 și presa inelară 9 iar elicea 2 poate fi ridicată la bord.

Pentru montarea noii elici, aceasta se coboară la apă și se așează pe conul arborelui, se înfiletează piulița cu presa axială și se blochează cu șaiba de siguranță 11. Se racordează conducta de alimentare cu ulei 4 de medie presiune (300 - 400 bari) la presa axială și se procedează la împingerea ușoară a elicei pe arbore în scopul preluării erorilor de conicitate existente între suprafețe. Se oprește apoi alimentarea presei axiale, se racordează conducta de alimentare cu ulei 3 de înaltă presiune la orificiile de alimentare a elicei. Simultan cu dilatarea elicei se acționează și asupra presei axiale până ce elicea ajunge la un opritor astfel poziționat pe arbore încât să se asigure avansul a al elicei care creiază strângerea dorită între suprafețele în contact. În acest moment se oprește alimentarea cu ulei de înaltă presiune dar se continuă menținerea presiunii în presa axială încă cca. 10 minute, până ce elicea își revine din deformația elastică suferită și uleiul de pe suprafața de contact a fost expulzat în rezervor.

Dacă spațiul de manevră nu permite demontarea elicei fără demontarea cârmei, se va proceda mai întâi la demontarea cârmei prin același procedeu, iar după montarea și verificarea elicei va fi montată și cârma.

2.1.3. Geometria canalelor de distribuție și alimentare

Dimensiunile canalelor de alimentare cu ulei, rezultate în urma experimentărilor, sunt indicate în figura 2.5 și tabelul 2.1, unde: B – lățimea canalului; H – adâncimea canalului; δ - diametrul orificiului de alimentare.

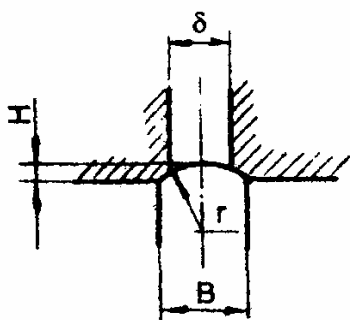


Fig.2.5. Canal de alimentare.

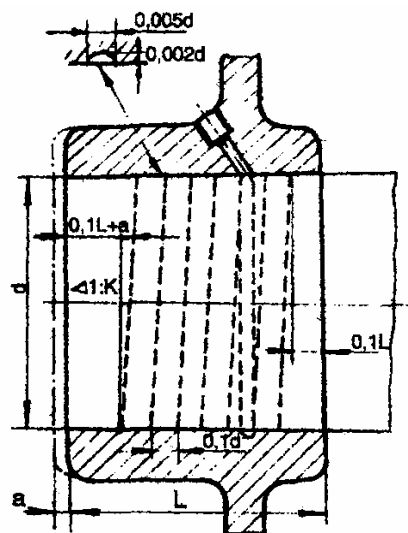


Fig.2.6. Canal de distribuție.

Tabelul 2.1. - Dimensiunile canalului de alimentare cu ulei.

Diametrul minim al suprafeței de presare d , [mm]		Dimensiunile canalului, [mm]				
peste	până la	B	H	r	δ	
-	30	2,5	0,5	2	2	
30	50	3	0,5	2,5	2,5	
50	100	4	0,8	3	3	

100	150	5	1	4	4
150	200	6	1,25	4,5	5
200	250	7	1,5	5	5
250	300	8	1,5	6	6
300	400	10	2	7	7
400	500	12	2,5	8	8
500	650	14	3	10	10
650	800	16	3	12	12
800	1000	18	4	12	12

Canalele de distribuție a uleiului nu trebuie să fie prea late, pentru a nu se produce o creștere a presiunii pe muchiile acestora. Pentru asamblările cu lungime mică de contact ($L < d$), se pot executa unul sau două canale circulare de distribuție, iar pentru asamblările cu lungime mare ($L > d$) se recomandă executarea unui canal elicoidal care să se termine înainte de capetele asamblării și a cărei dimensiuni sunt indicate în figura 6 unde: a – avansul axial dat butucului la montaj; L – lungimea zonei de contact; d – diametrul minim al conului.

2.1.4. Conicitatea suprafețelor de contact și erorile admise.

Conicitatea maximă, trebuie să fie astfel adoptată încât să fie asigurată condiția de autofrânare, astfel ca la îndepărtarea forței de montare asamblarea să nu se autodesfacă. La asamblările conice cu strângere cu autofrânare, coeficientul de frecare $\mu \geq \tan \frac{\alpha}{2}$, unde α reprezintă unghiul la vârful conului, ($\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2K}$), adică $K \geq \frac{1}{2\mu}$.

În cazul când $\mu = 0,125$ (coeficient de frecare uscată oțel pe oțel cu urme de ulei de la montaj), rezultă $K > 4$.

Deoarece în exploatare pot apare forțe axiale accidentale, în cazul cărmei chiar greutatea ei constituie o forță axială de depresare, această valoare este majorată la $K \geq 10$.

Sunt uzuale valorile: $K = 12; 15; 20; 30; 50; 80; 100$ cu precădere cele din mijlocul domeniului, care realizează un compromis mulțumitor: forță de montaj redusă, avans axial nu prea mare, uniformizare a presiunii de contact și asigurarea autodesfacerii. SKF recomandă în genere o conicitate de 1:20 și 1:30; la asamblările cu solicitări la încovoiere mari, 1:50; iar la asamblările lungi 1:80.

În urma prelucrării, între conurile suprafețelor conjugate ce urmează a fi asamblate prin presare, rezultă o diferență unghiulară γ , aceasta conducând la contactul inițial superior (Fig.2.7) sau inferior (Fig.2.8).

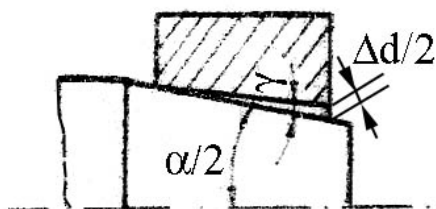


Fig. 2.7 – Prelucrarea conurilor cu contact inițial superior

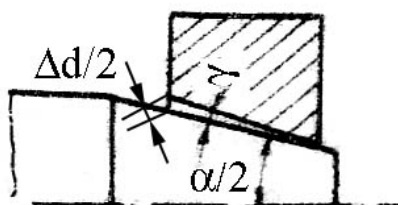


Fig. 2.8 - Prelucrarea conurilor cu contact inițial inferior

Înainte de montaj, abaterea unghiulară γ se remarcă prin jocul diametral diferit la capetele asamblării. În ambele cazuri există la capătul mai deschis al asamblării o abatere

Δd a diametrului unei piese față de diametrul celeilalte. Ca urmare, intrarea în contact a punctelor suprafețelor nu are loc concomitent ci progresiv, ca în figura 2.9.

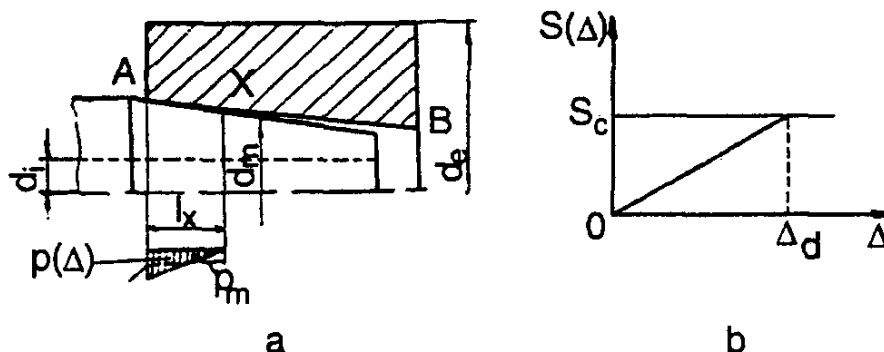


Fig.2.9. Dependența suprafeței de contact de erorile de prelucrare.

Presiunea de contact dintre cele două piese va fi maximă în punctul A:

$$p(\Delta) = \frac{\Delta}{d \cdot B} \quad (1)$$

unde B este factorul de formă și de material al asamblării:

$$B = \frac{1}{E_a} \left(\frac{1 + \delta_a}{1 - \delta_a} - \nu_a \right) + \frac{1}{E_b} \left(\frac{1 + \delta_b}{1 - \delta_b} + \nu_b \right) \quad (2)$$

$$\text{iar } \delta_a = \frac{d_i}{d_m}; \delta_b = \frac{d_m}{d_e};$$

ν_a și ν_b - coeficienții lui Poisson pentru arbore și butuc;

E_a și E_b - modulele de elasticitate pentru arbore și butuc;

Se constată că presiunea (relația 1) variază aproximativ liniar pe suprafața intrată în contact, până în punctul X, unde se anulează.

Între suprafața intrată în contact $S(\Delta)$ și strângerea în punctul A - Δ - există relația (Fig.9b):

$$S(\Delta) = S_c \frac{\Delta}{\Delta d} \quad (3)$$

unde $S_c = \pi d_m l$ este suprafața de contact.

Presiunea medie pe suprafața $S(\Delta)$ este: $p_m = p(\Delta) / (2dB)$ (4)

Înlocuind în relația (1), relația (4), în care s-a considerat $\Delta = \Delta d$ și $d = d_m$ (contact pe întreaga suprafață conică), se obține forța axială inițială de montaj:

$$F_{ai} = \Delta \frac{S_c}{2d_m B} \left(\mu_u + \frac{1}{2K} \right) \quad (5)$$

Unde μ_u este un coeficient de frecare uscată, deoarece în această fază nu se poate realiza frecarea fluidă datorită neetanșeității naturale a spațiului dintre suprafețe.

Dacă "s" este strângerea medie necesară, presiunea medie necesară pe suprafața de contact va fi:

$$p_m = s / (d_m \cdot B) \quad (6)$$

iar forța axială finală de montaj va fi:

$$F_{af} = p_m \cdot S_c \left(\mu_f + \frac{1}{2K} \right) \quad (7)$$

unde μ_f este coeficientul de frecare fluidă.

Deoarece se recomandă ca $F_{ai} \leq F_{af} / 10$ (8)

rezultă $\Delta d \leq \alpha \cdot \Delta$ (9)

unde
$$\alpha = 0,2 \frac{\mu_f + \frac{1}{2K}}{\mu_u + \frac{1}{2K}} \quad (10)$$

este coeficientul de toleranță al strângerii.

Pentru ca forța axială inițială de montaj uscat F_{ai} să nu depășească 10% din forța axială finală de montaj, trebuie ca abaterea de la diametru Δd să nu depășească $\alpha.s$.

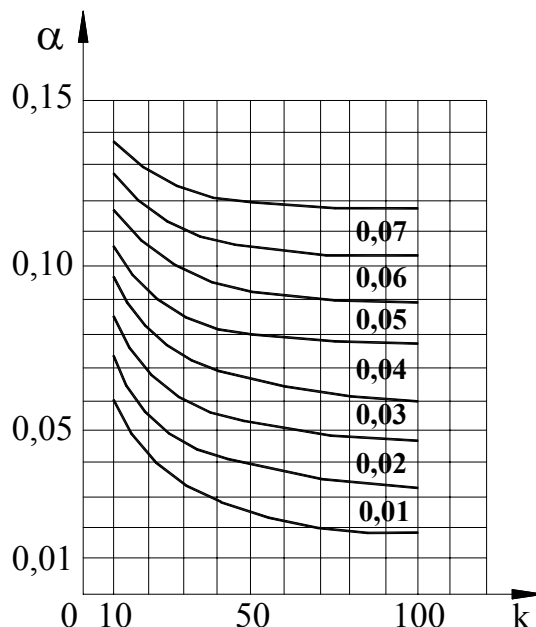


Fig.2.10. Dependența coeficientului de toleranță al îmbinării cu conicitatea și coeficientul de frecare.

În figura 2.10 se prezintă dependența dintre coeficientul de toleranță al îmbinării α , conicitatea K și coeficientul de frecare fluidă μ_f ce se urmărește a se obține la montaj, în cazul unei asamblări cu $\mu_u = 0,14$ (oțel pe oțel, rugozitatea $1,6 \mu m$).

Respectarea acestei condiții privind toleranța suprafețelor conice nu este însă suficientă, ea trebuind să fie corelată și cu caracteristica de variație a presiunii uleiului de dilatare în timpul montajului, p_o (cap.2.3.2).

Această valoare nu trebuie să fie depășită, deoarece de la această valoare o parte a asamblării nu mai contribuie la transmiterea sarcinilor exterioare. Din cauza abaterii unghiulare, după presare, strângerea și distribuția de presiuni suferă modificări în lungul asamblării, modificări ce vor fi analizate la cap.2.2.3.

2.1.5. Geometria capetelor asamblării

Capetele asamblărilor presate constituie puternice surse de concentrare a tensiunilor. Ca efecte produse se pot enumera:

- creșterea presiunii de contact la capetele asamblării (Fig.2.3b), ceea ce conduce atât la creșteri ale tensiunilor normale cât și a celor de forfecare;
- creșterea tensiunilor de forfecare tangențiale cauzate de răsucire în zona de trecere de la arborele liber la butuc;
- apariția tensiunilor de forfecare pe suprafața de contact ca rezultat al răsucirii și încovoierii cu alunecare.

Aceste cauze pot fi grupate în două tipuri de influențe asupra rezistenței la oboseală:

- influența asupra rezistenței la oboseală a miezului arborelui, influență pe care o au toate fenomenele de mai sus;
- influență asupra rezistenței la oboseala de contact, ca urmare a tendinței de alunecare, unde acționează frecări care se manifestă la suprafață.

În privința rezistenței la oboseala de contact, forma de uzură cea mai frecventă este coroziunea de fretare care, datorită distribuției de presiuni descrisă anterior, este maximă la capetele asamblării, exact în zonele unde se concentrează și tensiunile care influențează rezistența la oboseală în miezul arborelui. În această situație, uzura superficială a materialului în zonele de alunecare sfârșește prin a provoca amorse de fisură grăbind procesul ruperii, astfel fenomenele de oboseală de contact și cel de rupere se cumulează producând scăderea capacității de rezistență în comparație cu a arborelui liber.

În privința influenței formei constructive a capătului arborelui, în literatură sunt prezentate rezultate ale unor experimentări asupra unor probe cu diverse forme terminale (Fig.2.11...Fig.2.17). Toate aceste soluții constructive au ca scop crearea unei zone inițiale de trecere progresivă de la rigiditatea mai mică a arborelui la cea mai mare din zona butucului, care este principala cauză a apariției vârfului presiunii de contact, astfel:

- butucul poate fi prevăzut pe suprafața frontală cu canale de descărcare, canale ce urmăresc elasticizarea zonelor de capăt. Dimensiunile recomandate pentru acest canal (Fig.2.11) sunt puse în legătură cu diametrul (d) arborelui în zona de montaj;
- butucul poate fi subțiat către capete, astfel că la extremități el să devină mai elastic, fie prin executarea conică a capetelor (Fig.2.12), fie prin prelucrarea lor cilindrică la un diametru mai mic (Fig.2.13);

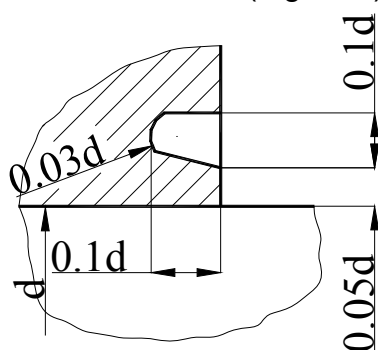


Fig.2.11 Butuc cu canal de descărcare pe suprafețele frontale.

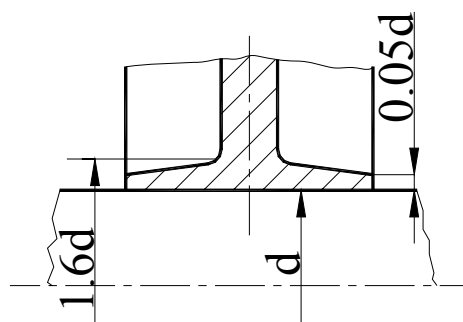


Fig.2.12 Prelucrarea conică la exteriorul butucului.

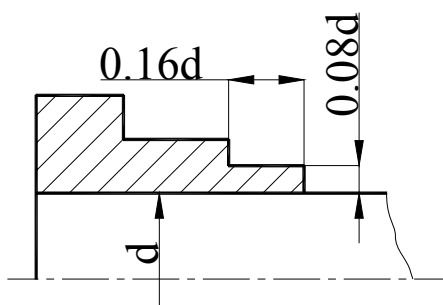


Fig.2.13 Prelucrarea în trepte descrescătoare a exteriorului butucului.

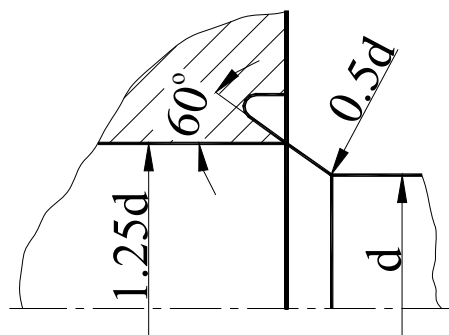


Fig.2.14 Butuc cu canal de descărcare și trecere continuă la diametrul subțiat al arborelui.

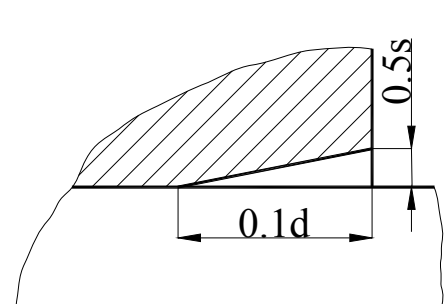


Fig.2.15 Butuc cu teșitură interioară pe capete.

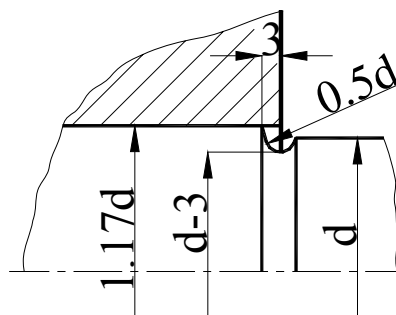


Fig.2.16 Arbore cu canal de descărcare la capetele asamblării.

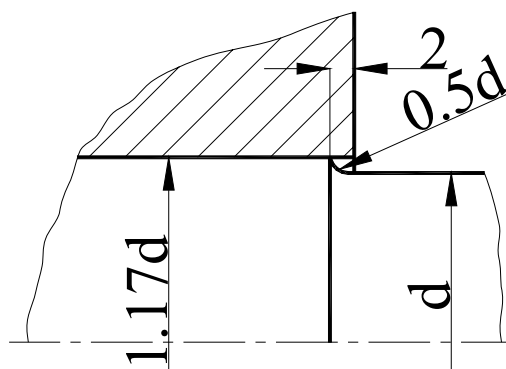
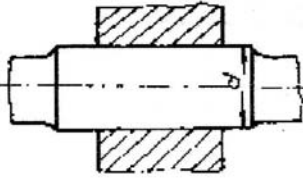
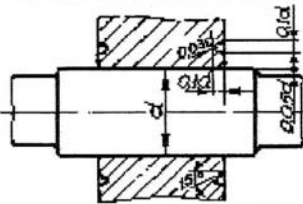
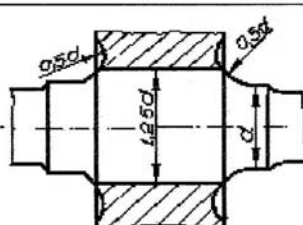
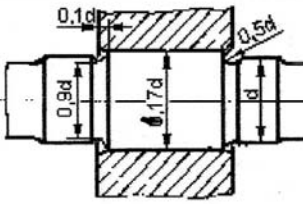
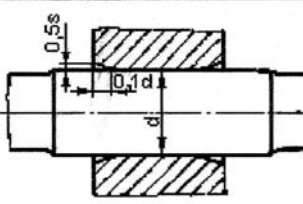
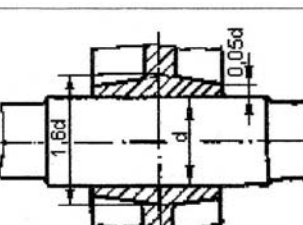


Fig.2.17 Prelucrarea arborelui la un diametru mai mic înainte de capetele butucului.

- butucul poate fi prelucrat la capete astfel încât să se obțină o trecere continuă de la arbore la butuc (Fig.2.14). În acest caz rezistența la oboseală se dublează față de asamblarea presată cu capete neprelucrate;
- butucul poate avea prelucrat diametrul alezajului pe o zonă de capăt la o conicitate mai mare, astfel că la începerea montajului capetele să prezinte o deschidere (Fig.2.15). Deschiderea este dependentă de strângerea din asamblare (s).
- în alte cazuri se poate recomanda prelucrarea arborelui cu degajări la capetele asamblării (Fig.2.16 și 2.17) astfel încât zona cu concentrări maxime de tensiuni să fie descărcată.

Sintetizând soluțiile prezentate în scopul micșorării concentratorilor de tensiune pe capetele asamblării, în tabelul 2.2 sunt prezentați coeficienții de concentrare β_σ și β_τ pentru montaje presate, în cazul când diametrul arborelui $d = 40\text{mm}$. Se constată că soluțiile 3 și 4 sunt cele mai avantajoase, coeficientul de concentrare fiind de cca. 1,8 ori mai mic față de cazul asamblării presate fără descărcări pe capetele asamblării.

Tabelul 2.2. - Concentratori de tensiune pentru diferite forme a capetelor asamblărilor presate.

Nr. crt.	Forma arborelui si a butucului	Toleranta	β_{σ} β_{τ}	Arbore cu σ_r (N/mm ²)						
				400	500	600	700	800	900	1000
1		H8/u8	β_{σ}	1,8	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8
			β_{τ}	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
2		H8/u8	β_{σ}	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
			β_{τ}	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
3		H8/u8	β_{σ}	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3
			β_{τ}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
4		H8/u8	β_{σ}	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3
			β_{τ}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
5		H8/u8	β_{σ}	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,0
			β_{τ}	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,4
6		H8/u8	β_{σ}	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,7	1,8
			β_{τ}	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3

Efectul obținut este dublu: se micșorează tensiunile inițiale, se reduce coroziunea de fretare și, prin urmare, se reduce posibilitatea apariției amorselor de fisurare la oboseală.

Pentru a stabili criterii general valabile de construcție a capetelor butucilor, se presupune asamblarea din figura 2.18 care are butucul prelucrat la capăt sub unghiul α .

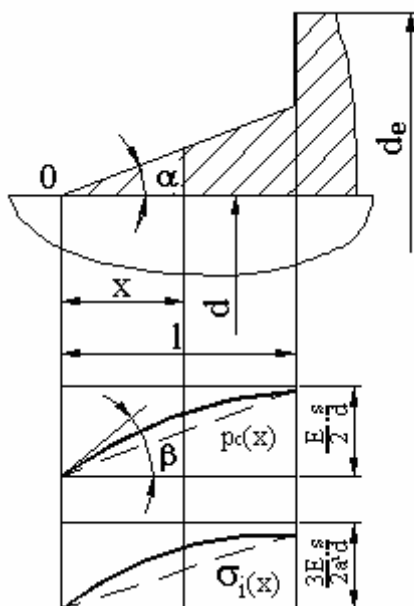


Fig.2.18. Prelucrarea teșită a capătului butucului.

După Lamé, presiunea pe suprafața de contact este de forma:

$$p_c = \frac{E.s}{d \left[\left(\frac{1 + \delta_i^2}{1 - \delta_i^2} - \nu_A \right) + \left(\frac{1 + \delta_e^2}{1 - \delta_e^2} - \nu_B \right) \right]} \quad (11)$$

unde: $\delta_i = d_i/d = 0$ pentru arbore plin ;

$$\delta_e = d/d_e = d/(d+2ax)$$

Notând $\tan \alpha = a$, relația (11) devine:

$$p_c = \frac{E.s}{2d} \left[1 - \left(\frac{d}{d + 2ax} \right)^2 \right] \quad (12)$$

$$\text{Panta curbei de presiuni va fi: } \tan \beta = \frac{dp_c}{dx} = \frac{2Esda}{(d + 2ax)^3}$$

Considerând zona de trecere ca o grindă solicitată la o sarcină distribuită și încastrată la un capăt:

$$q_c(x) = \pi d p_c(x) \quad (13)$$

$$\text{pornind de la expresia: } \frac{d^2 M_i}{dx^2} = -q_c(x)$$

cu condițiile inițiale $M(0) = 0$ și $T(0) = 0$ se ajunge la expresia momentului de încovoiere:

$$M_i(x) = \frac{\pi}{2} Es \left[\frac{x^2}{2} - x \frac{d}{2a} + \left(\frac{d}{2a} \right)^2 \ln \left(2a \frac{x}{d} + 1 \right) \right]$$

Considerând modulul de rezistență:

$$W_z(x) = \pi d \frac{y^2(x)}{6} = \pi \frac{d(ax)^2}{6} \quad \text{se obține:}$$

$$\sigma_i(x) = \frac{3Es}{a^2 x^2 d} \left[\frac{x^2}{2} - x \frac{d}{2a} + \left(\frac{d}{2a} \right)^2 \ln \left(2a \frac{x}{d} + 1 \right) \right] \quad (14)$$

Variațiile pentru $p_c(x)$ și $\sigma_i(x)$ sunt prezentate în figura 18.

Notând cu $\eta = 2al/d$ și scriind relația (14) în funcție de variabile adimensionale, se obține:

$$\sigma_i = \frac{3Es}{a^2 d} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\eta} + \frac{\ln(\eta + 1)}{\eta} \right] \quad (15)$$

Având în vedere că valorile η sunt foarte mici se poate proceda la unele simplificări considerând distribuția de presiuni liniară pe capetele butucului: $p_c(x) = p_{cl} \cdot x/l$

$$\text{unde } p_{cl} = \frac{Es}{2d} \left[1 - \frac{1}{(1 + \eta)^2} \right] = \frac{Es\eta}{d} \quad (16)$$

Refăcând calculele se obține:

$$\sigma_i(x) = \frac{p_{cl}}{a^2 l} x = \frac{Es\eta}{da^2 l} x \quad (17)$$

iar pentru $x = l$ și punând condiția ca tensiunile să fie sub $\sigma_{0,2}$ rezultă

$$\sigma_i(l) = \frac{Es\eta}{da^2} \leq \sigma_{0,2} \quad (18)$$

$$\text{sau } \frac{l}{d} \leq a \frac{\sigma_{0,2}}{2E \frac{s}{d}} \quad (19)$$

Relația (19) dă valori foarte apropiate de cele prezentate anterior, calculul fiind însă mult mai comod. Astfel, dacă $\sigma_{0,2} = 200 \text{ N/mm}^2$, $s/d = 1/500$ și $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ conform relației (19) rezultă $l/d = 0,238 \cdot \text{tg } \alpha$.

Dacă se impune $l/d = 1/8$ din condiția de depășire a zonei de vârf a presiunilor, se obține $a = 0,525$, deci $\alpha = 27,69^\circ$.

Pentru $s/d = 1/800$ rezultă $\alpha = 18,166^\circ$. Se acceptă ca valoare medie optimă $\alpha = 20^\circ$.

Măsurând pe o asamblare reală tensiunile normale în direcție tangențială σ_t la capetele butucului și pe exteriorul lui, s-a determinat presiunea de contact ținând seama de legătura între acești parametri. S-a constatat că la capătul neprelucrat presiunea este de 1,6 ori mai mare decât presiunea medie iar la cel prelucrat în pantă la 20° este de 1,2 ori mai mare.

2.1.6. Pregătirea pieselor în vederea montării

Materialele din care se vor realiza piesele ce se asamblează și care vor fi supuse presiunii de ulei, trebuie să prezinte o limită de elasticitate superioară, să fie compacte (fără pori), ceea ce trebuie urmărit în special la piesele turnate. Uleiul pătruns în pori produce fisuri și face imposibilă menținerea lui la o presiune constantă în timpul montării.

În timpul prelucrării este necesar să se verifice ca abaterile de la conicitatea suprafețelor în contact să nu depășească limitele prescrise. Dispozitivele de prindere la prelucrarea mecanică nu trebuie să deformeze piesele. Suprafețele de contact vor fi strunjite fin sau rectificate la $1,6 \mu\text{m}$. O rugozitate mai mică nu este recomandată, deoarece rugozitățile determină o mărire a coeficientului de frecare necesar transmiterii încărcării. Trebuie evitate rizurile brute și de prelucrare, care ar ajunge la capetele suprafețelor presate, deoarece prin acestea s-ar putea pierde ulei la montare și demontare. Canalele de alimentare și de distribuție a uleiului vor fi bine curățate de așchii înaintea montajului iar muchiile ascuțite se vor rotunji, pentru a evita concentratorii de tensiune.

Înainte de montaj se va verifica pata de contact a ajustajelor conice. Valoarea minimă a petei de contact admisă va fi de 80%, iar aceasta se va situa obligatoriu pe

capetele ajustajului. Nerespectarea indicațiilor referitoare la pata de contact va atrage rectificarea sau ajustarea alezajului până la obținerea petei de contact impusă. Înainte de montaj, suprafețele în contact trebuie să fie bine curățate, deoarece oxizii conduc la modificarea contactului.

Înainte de montajul final se va efectua separat montarea hidrostatică a reperelor. După montare se va efectua demontarea hidrostatică. La acest montaj de probă se va observa nerespectarea abaterilor de la conicitate, existența eventualelor pori, lipsa etanșeității la ștuțurile și conductele de alimentare cu ulei. Datorită acestor nereguli tehnologice, uleiul trimis de pompe nu va putea realiza presiunea necesară și asamblarea nu este posibilă.

Pentru a fi asigurată reușita montării elicei navale subacvatic, elementele de rezervă vor fi verificate așa cum s-a arătat mai sus în faza de construcție a navei, înainte de lansarea ei la apă.

Pentru mărirea rezistenței la coroziune și uzură de fretare, procese ce apar la asamblările presate supuse la solicitări variabile și care funcționează în mediu coroziv, se recomandă tratarea termochimică a suprafețelor în contact (cementare, nitrurare, cianurare), acoperiri (cromare, fosfatare) sau tratamente termice (călire cu CIF). Fosfatare suprafețelor după finisare conduce la formarea unui strat foarte subțire de fero-mangano-fosfat care oferă protecție împotriva uzurii.

Dacă montarea are loc la temperatura normală (15-25° C) se recomandă a se utiliza un ulei mineral curat și subțire, eventual ulei hidrolic H35 având o vâscozitate de 36...40 Cst (4,5...5° E) la 50° C. Deoarece vâscozitatea uleiului depinde în afară de temperatură și de presiune, uleiul subțire se poate îngroșa la o temperatură joasă sub presiune mare, ceea ce conduce la o suprasolicitare a asamblării și a utilajului de înaltă presiune. De aceea, la montarea și demontarea în spații reci, este bine să se utilizeze un ulei diluat (eventual cu motorină).

La montarea și demontarea subacvatică a elicei sau cârmei, nu se produce poluarea cu ulei a apei deoarece probele de etanșeitate și de precizie a execuției reperelor au fost efectuate și asigurate înainte de lansarea la apă a navei, iar la execuțiile corecte nu au loc scăpări de ulei în timpul montării.

Respectarea tehnologiei de execuție și control a reperelor, cât și tehnologia de asamblare și demontare a lor, în cazul acestor montaje, este la fel de importantă ca și calculul lor, efectuat pe baza regulilor stabilite de Registrul Naval (reguli ce au fost incluse în Registrul Naval Român la propunerea autorilor prezentului proiect).

2.2. Distribuția de tensiuni și deformații la montarea și în timpul funcționării elicei.

Teoria lui Lamé care se aplică în momentul actual la calculul asamblărilor presate, nu ține seama de foarte mulți factori care influențează distribuția de presiuni pe suprafața de contact a asamblării și în consecință conduc la erori ce merg până la 100%, în privința deformațiilor și tensiunilor ce apar în structura asamblării. Dintre acești factori pot fi enumerați următorii:

- piesele sunt de lungime finită și inegale, în plus la un capăt butucul poate depăși arborele și la celălalt capăt arborele depășește butucul;
- asamblarea este supusă la forțe centrifuge variabile în timpul funcționării care modifică strângerea inițială;
- butucul nu are periferie circulară la exteriorul lui și nu prezintă o grosime constantă a pereților;

- montarea pieselor are loc la o temperatură iar funcționarea lor la o altă temperatură care poate fi variabilă în timp;
- erorile de prelucrare a suprafețelor (abateri de la paralelismul și rectilinitatea generatoarelor suprafețelor de contact, abateri de la circularitatea secțiunilor transversale, abateri de la conicitate, rugozitatea ș.a.);
- încărcările suplimentare ce apar în timpul funcționării și modificările pe care le aduc presiunii de contact: momente încovoietoare, momente de răsucire, forțe axiale ș.a.

Toți acești factori modifică mult distribuția presiunii pe suprafața de contact atât la montaj cât și în timpul exploatării, precum și distribuția de tensiuni și deformații din elice, putându-se ajunge ca în unele zone ale suprafeței, strângerea să fie anulată și acea suprafață să nu mai participe la transmiterea încărcării iar în unele zone să se depășească tensiunea admisibilă a materialului.

Elicea este o piesă de lungime finită, cu suprafața exterioară a butucului variabilă datorită existenței palelor, cu suprafața interioară și exterioară ușor conică, asamblarea fiind solicitată în funcționare la răsucire în regim oscilant, încovoiere în regim alternant simetric, forță axială și forțe centrifuge, ea funcționând în regim termic tranzitoriu. Ținând seama de toate acestea, calculul deformațiilor, a strângerii și a tensiunilor ce apar în elice trebuie făcut, atât la montarea ei cât și în timpul exploatării, după alte principii decât teoria tuburilor cu pereți groși a lui Lamé.

2.2.1. Distribuția de tensiuni și deformații la montarea elicei

2.2.1.1. Strângerea a două piese cilindrice de lungimi diferite

Pentru stabilirea deformațiilor ce au loc în asamblările presate cilindrice cu butuc de lungime finită, se consideră în asamblarea din figura 2.19 o secțiune făcută cu un plan perpendicular pe axa comună, la distanța x de un plan median de referință; un inel de grosime infinit mică dx ; o presiune $p(x)$ între inelul butucului și cel al arborelui; $r(x)$ raza suprafeței de contact între butuc și arbore în secțiunea de abscisă x .

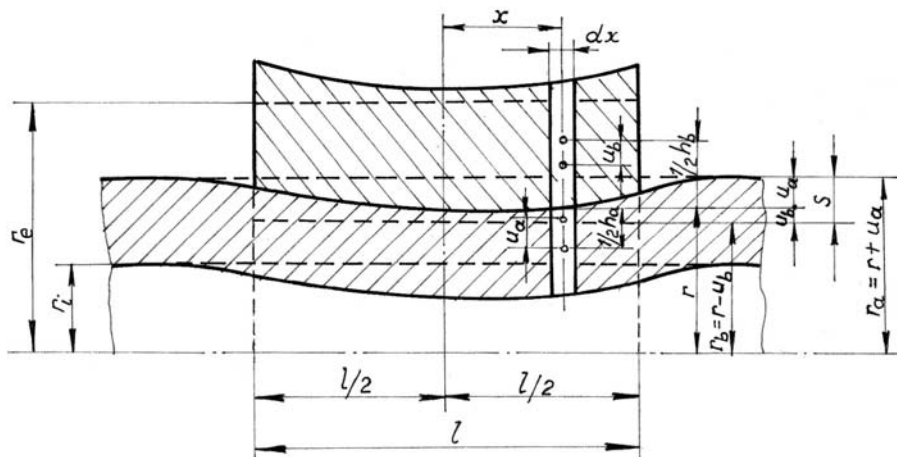


Fig. 2.19 - Asamblare presată cilindrică cu butuc de lungime finită

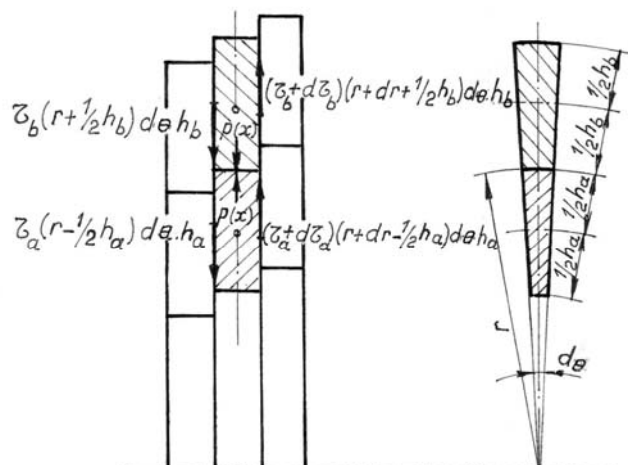


Fig. 2.20 – Forțele de legătură asupra unui inel de grosime infinit mică din asamblare

Din cauza variației lui r cu x , apar între inelele infinitezimale vecine tensiuni tangențiale τ . Se consideră o valoare medie pe secțiune a acestora, astfel încât forțele tangențiale să fie egale cu expresiile din figura 2.20.

Notând cu u_b deplasarea punctului comun între arbore și butuc, față de poziția inițială a butucului:

$$r = r_b + u_b \quad (dr = du_b) \quad (20)$$

iar cu u_a deplasarea punctului comun față de poziția inițială a arborelui:

$$r = r_a - u_a \quad (dr = -du_a) \quad (21)$$

$$\text{Deci: } du_b + du_a = 0 \quad (22)$$

Dacă s este strângerea din asamblare:

$$u_b + u_a = s \quad (23)$$

Se consideră că un asemenea inel de grosime infinit mică este echivalent cu unul liber, dacă se introduc legăturile cu inelele vecine, figura 2.20. Aceste legături, împreună cu presiunea $p(x)$, sunt echivalente cu o presiune $q(x)$ definită pentru inelul exterior (butuc), de relația:

$$q_b(x) = p(x) + \frac{1}{r} \tau_b \frac{dr}{dx} h_b + \frac{d\tau_b}{dx} \left(1 + \frac{h_b}{2r}\right) h_b \quad (24)$$

iar pentru inelul interior (arbore), de relația:

$$q_a(x) = p(x) - \frac{1}{r} \tau_a \frac{dr}{dx} h_a - \frac{d\tau_a}{dx} \left(1 - \frac{h_a}{2r}\right) h_a \quad (25)$$

Pentru deformații mici se poate neglija „ u ” față de „ r ” și de asemenea derivatele de ordinul doi $(du/dr)^2$, astfel că relația (24) și (25) devin:

$$q_b(x) = p(x) + G_b \frac{d^2 u_b}{dx^2} \left(1 + \frac{h_b}{2r_b}\right) \cdot h_b \quad (26)$$

$$q_a(x) = p(x) - G_a \frac{d^2 u_a}{dx^2} \left(1 - \frac{h_a}{2r_a}\right) \cdot h_a \quad (27)$$

unde G_a și G_b sunt modulul de elasticitate transversal al materialului arborelui și butucului.

Inelul exterior supus la o presiune interioară $q_b(x)$ se deformează, căpătând o creștere a razei r_b dată de relația:

$$u_b(x) = q_b(x) \frac{r_b}{E_b} \left(\frac{1 + \delta_b^2}{1 - \delta_b^2} + \nu_b \right) \quad \text{unde } \delta_b = \frac{r_b}{r_e} \quad (28)$$

unde E_b și ν_b – modulul de elasticitate longitudinal și coeficientul lui Poisson pentru materialul manșonului.

Contrația radială a inelului arborelui va fi:

$$u_a(x) = q_a(x) \frac{r_a}{E_a} \left(\frac{1 + \delta_a^2}{1 - \delta_a^2} - \nu_a \right) \quad \text{unde } \delta_a = \frac{r_a}{r_e} \quad (29)$$

unde E_a și ν_a – modulul de elasticitate longitudinal și coeficientul lui Poisson pentru materialul arborelui.

Notând:

$$\frac{1 + \delta_b^2}{1 - \delta_b^2} + \nu_b = c_b \quad \text{și} \quad \frac{1 + \delta_a^2}{1 - \delta_a^2} - \nu_a = c_a \quad (30)$$

și ținând seama de relația (23), strângerea devine:

$$S = p(x) \left(r_b \frac{C_b}{E_b} + r_a \frac{C_a}{E_a} \right) + G_b \frac{d^2 u_b}{dx^2} \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b r_b \frac{C_b}{E_b} - G_a \frac{d^2 u_a}{dx^2} \left(1 - \frac{h_a}{2r_a} \right) h_a \cdot r_a \frac{C_a}{E_a} \quad (31)$$

Luând în considerație relația (22): $\frac{d^2 u_b}{dx^2} = \frac{d^2 u_a}{dx^2}$ și înlocuind în relația (28) expresia dată de (26), se obține:

$$u_b(x) = p(x) r_b \frac{C_b}{E_b} + G_b \frac{d^2 u_b}{dx^2} \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b r_b \frac{C_b}{E_b} \quad (32)$$

$$p(x) = \frac{E_b}{r_b \cdot C_b} \left[u_b(x) - G_b \frac{d^2 u_b}{dx^2} \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b r_b \frac{C_b}{E_b} \right] \quad (33)$$

Înlocuind relația (33) în (31) se obține:

$$\frac{d^2 u_b}{dx^2} \cdot \frac{r_a \cdot C_a}{E_a} \left[G_b \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b - G_a \left(1 - \frac{h_a}{2r_a} \right) h_a \right] - u_b(x) \left(1 + \frac{r_a}{r_b} \cdot \frac{C_a}{C_b} \cdot \frac{E_b}{E_a} \right) = -S \quad (34)$$

Analog se obține:

$$\frac{d^2 u_a}{dx^2} \cdot \frac{r_b \cdot C_b}{E_b} \left[G_b \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b - G_a \left(1 - \frac{h_a}{2r_a} \right) h_a \right] - u_a(x) \left(1 + \frac{r_b}{r_a} \cdot \frac{C_b}{C_a} \cdot \frac{E_a}{E_b} \right) = -S \quad (35)$$

Notând:

$$G_b \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b - G_a \left(1 - \frac{h_a}{2r_a} \right) h_a = A \quad (36)$$

$$\frac{E_b}{r_b C_b} + \frac{E_a}{r_a C_a} = B \quad (37)$$

$$S \frac{E_a}{r_a C_a} = S_a \quad \text{și} \quad S \frac{E_b}{r_b C_b} = S_b \Rightarrow S_a + S_b = B \cdot S \quad (38)$$

Folosind notațiile (36), (37) și (38) în relațiile (34) și (35) se obține:

$$A \frac{d^2 u_b}{dx^2} - B \cdot u_b = -S_a \quad (39)$$

$$A \frac{d^2 u_a}{dx^2} - B \cdot u_a = -S_b \quad (40)$$

Considerând $A > 0$ (cazul practic), se poate nota:

$$\frac{B}{A} = \gamma^2; \quad S_a = S \frac{\frac{E_a}{r_a C_a}}{\frac{E_a}{r_a C_a} + \frac{E_b}{r_b C_b}}; \quad S_b = S \frac{\frac{E_b}{r_b C_b}}{\frac{E_a}{r_a C_a} + \frac{E_b}{r_b C_b}} \quad (41)$$

Ecuatiile (39) și (40) cu notațiile (41) devin:

$$\frac{d^2 u_b}{dx^2} - \gamma^2 u_b = -\gamma^2 \cdot S_a \quad (42)$$

$$\frac{d^2 u_a}{dx^2} - \gamma^2 u_a = -\gamma^2 \cdot S_b \quad (43)$$

Deoarece $u_a(x) + u_b(x) = S$, soluțiile sunt:

$$u_b(x) = M \cdot \text{sh} \gamma x + N \cdot \text{ch} \gamma x + S_a \quad (44)$$

$$u_a(x) = M \cdot \text{sh} \gamma x + N \cdot \text{ch} \gamma x + S_b \quad (45)$$

În afara zonei de contact $p(x) = 0$ iar relația (35) devine:

$$\frac{d^2 u_a^*}{dx^2} + \alpha^2 \cdot u_a^*(x) = 0 \quad (46)$$

cu notația:

$$\frac{G_a}{E_a} \left(1 - \frac{h_a}{2r_a} \right) h_a \cdot r_a \cdot C_a = \frac{1}{\alpha^2} \quad (47)$$

și soluția:

$$u_a^* = M_a \cdot \sin \alpha x + N_a \cdot \cos \alpha x \quad (48)$$

În cazul când butucul depășește arborele, relația (34) devine:

$$\frac{d^2 u_b^*}{dx^2} - \beta^2 \cdot u_b^*(x) = 0 \quad (49)$$

cu notația:

$$\frac{G_b}{E_b} \left(1 + \frac{h_b}{2r_b} \right) h_b \cdot r_b \cdot C_b = \frac{1}{\beta^2} \quad (50)$$

și soluția:

$$u_b^* = M_b \cdot \text{sh} \beta x + N_b \cdot \text{ch} \beta x \quad (51)$$

Există două situații:

a) *Butuc cilindric de grosime constantă și lungime „l”, montat cu strângerea „s” pe un arbore ce depășește extremitățile butucului (fig.15).*

În acest caz, se alege originea axelor în planul de simetrie transversal la mijlocul asamblării. Se obține:

$$u_a = -N \cdot \text{ch} \gamma x + S_b \quad \text{pentru} \quad -\frac{l}{2} \leq x \leq \frac{l}{2} \quad (52)$$

$$u_a^* = M_a \sin \alpha x + N_a \cos \alpha x \quad \text{pentru} \quad x \geq +\frac{l}{2}; \quad x \leq -\frac{l}{2} \quad (53)$$

Din condiția de continuitate a deformațiilor și ținând seama că la distanța „a” de capătul butucului deformația arborelui este nulă, se obține sistemul:

$$M_a \cdot \sin \frac{\alpha l}{2} + N_a \cdot \cos \frac{\alpha l}{2} + N \cdot ch \frac{\gamma l}{2} - S_b = 0$$

$$M_a \cdot \cos \frac{\alpha l}{2} - N_a \cdot \sin \frac{\alpha l}{2} - N \frac{\gamma}{2} \cdot sh \frac{\gamma l}{2} = 0 \quad (54)$$

$$M_a \cdot \sin \alpha \left(\frac{l}{2} + a \right) + N_a \cdot \cos \alpha \left(\frac{l}{2} + a \right) = 0$$

cu soluțiile:

$$\Delta = \alpha \cdot ch \frac{\gamma l}{2} th \alpha \left(\frac{l}{2} + a \right) \cdot \sin \frac{\alpha l}{2} \quad (55)$$

$$M_a = \frac{S_b \cdot \gamma \cdot sh \frac{\gamma l}{2}}{\gamma sh \frac{\gamma l}{2} \cdot \sin \frac{\alpha l}{2} - \gamma sh \gamma \frac{l}{2} \cdot th \alpha \left(\frac{l}{2} + 1 \right) \cdot \cos \frac{\alpha l}{2} + \alpha \cdot ch \frac{\gamma l}{2} \cdot \cos \frac{\alpha l}{2} + \Delta}$$

$$N = M_a = \frac{\alpha \cdot \cos \frac{\alpha l}{2} + \alpha \cdot th \alpha \left(\frac{l}{2} + a \right) \cdot \sin \frac{\alpha l}{2}}{\gamma \cdot sh \frac{\gamma l}{2}}$$

Considerând o asamblare presată cilindrică cu: $r_a = r_b = r$; $h_a = h_b = r$; $l = 3r$; $G_a = G_b = G$; $E_a = E_b = E$; $v_a = v_b = v = 0,3$ și $a = 3r$; rezultatele calculelor, aplicând relațiile stabilite, sunt înscrise în figura 2.21.

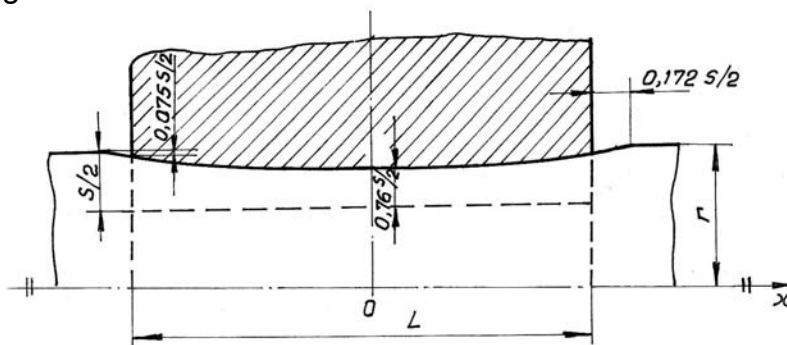


Fig. 2.21 – Deformațiile într-o asamblare presată cilindrică cu butuc de lungime finită

b) Butuc cilindric de grosime constantă și lungime „l”, montat cu strângere „s” pe un arbore ce depășește într-o parte extremitatea butucului, iar în cealaltă parte, butucul depășește capătul arborelui (fig.2.22).

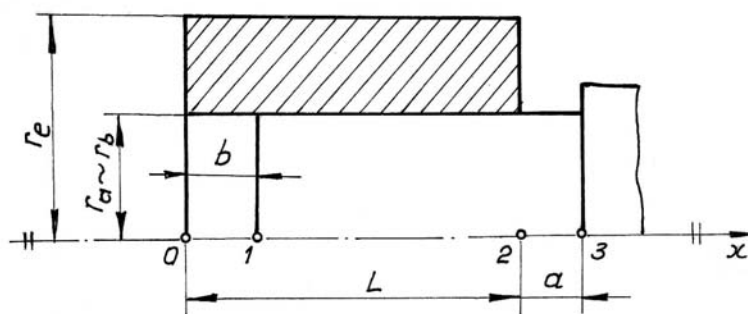


Fig. 2.22 – Asamblarea presată cilindrică la care butucul depășește într-o parte capătul arborelui.

Alegând originea sistemului de axe la extremitatea butucului și considerând că în secțiunea 3 deformațiile datorită strângerii sunt neglijabile, se scriu următoarele condiții:

- în secțiunea 0 ($x=0$): $\frac{du_{*b}^*}{dx} = 0$
- în secțiunea 1 ($x=b$): $u_b^* = u_b$; $\frac{du_{*b}^*}{dx} = \frac{du_{*b}}{dx}$
- în secțiunea 2 ($x=l$): $u_a = u_a^*$; $\frac{du_a}{dx} = \frac{du_a^*}{dx}$
- în secțiunea 3 ($x=a$): $u_a^* = 0$

Luând în considerație ecuațiile (44), (45), (48) și (51), în aceste condiții rezultă:

$M_b = 0$ și:

$$M \cdot \text{sh} \gamma b + N \cdot \text{ch} \gamma b - N_b \cdot \text{ch} \beta b = -S_a$$

$$M \cdot \text{ch} \gamma b + N \cdot \text{sh} \gamma b - N_b \frac{\beta}{\gamma} \cdot \text{sh} \beta b = 0$$

$$M \cdot \text{sh} \gamma l + N \cdot \text{ch} \gamma l + M_a \cdot \sin \alpha l + N_a \cdot \cos \alpha l = S_b \quad (56)$$

$$M \cdot \text{cd} \gamma l + N \cdot \text{sh} \gamma l + M_a \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \cos \alpha l - N_a \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \sin \alpha l = 0$$

$$M_a \cdot \sin[\alpha(l+a)] + N_a \cdot \cos[\alpha(l+a)] = 0$$

Considerând, ca și în exemplul precedent; $r_a = r_b = r$; $h_a = h_b = r$; $l = 3r$; $G_a = G_b = G$; $E_a = E_b = E$; $v_a = v_b = v = 0,3$ $b = r$ și $a = 3r$; rezultatele calculelor, aplicând relațiile stabilite, sunt înscrise în figura 23.

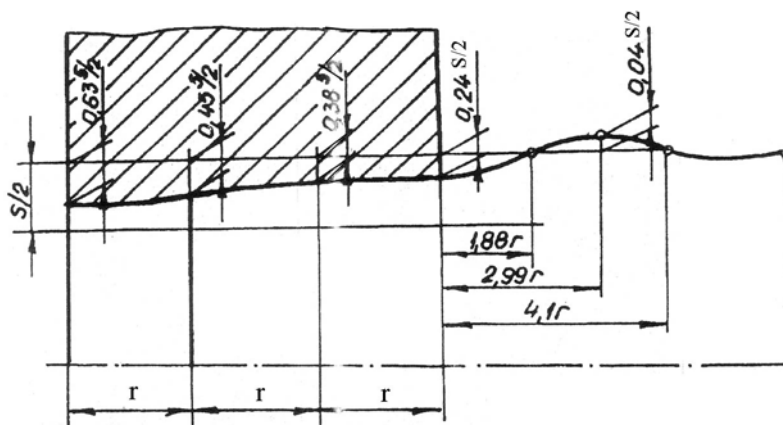


Fig. 2.23 – Deformațiile într-o asamblare presată cilindrică când butucul depășește capătul arborelui

În comparație cu teoria lui Lamé care conduce la deformații constante considerând ambele corpuri de lungime infinită, se constată că deformațiile corpurilor presate sunt diferite pe lungimea asamblării deoarece presiunea este variabilă. În plus, deformația se continuă și în zona liberă a arborelui, producând tensiuni de întindere σ_r . Aceste tensiuni remanente conduc la distrugerea prin oboseală a arborilor pe care s-au presat diverse piese, nu la capătul asamblării ci la o distanță egală cu aproximativ $3r$. Pentru diminuarea acestor efecte se recomandă prelucrarea capetelor butucilor care să conducă la elasticizarea lor și micșorarea astfel a presiunii pe capetele asamblării.

Rezultatele experimentărilor (fig. 2.24 și tabelul 2.3) dovedesc că, în cazul contactului total, distribuția presiunii pe suprafața de contact obținută experimental este apropiată de cea stabilită teoretic ceea ce confirmă justetea ipotezelor făcute.

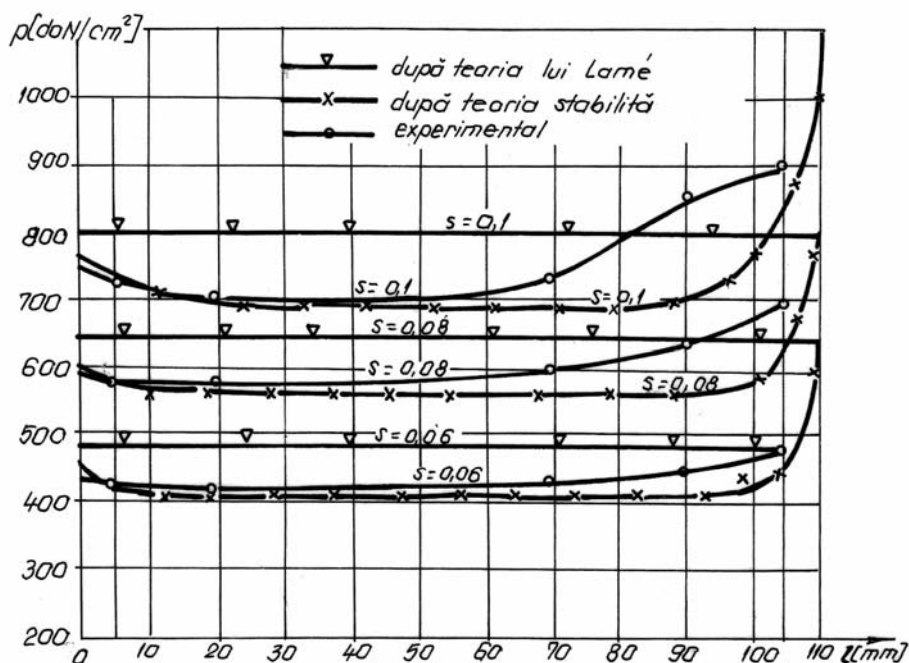


Fig. 2.24 – Distribuția de presiuni într-o asamblare presată cilindrică de lungime finită.

Comparând rezultatele obținute experimental cu cele furnizate de teoria lui Lamé, se constată că în zona mijlocie a asamblării, presiunea reală este cu aproximativ 10% mai mică, iar la diametrul maxim al asamblării, în cazul când arborele depășește butucul, crește foarte mult cu strângerea (de exemplu: pentru $S = 0,1$ crește cu 40%).

Tabelul 2.3. - Valorile experimentale ale presiunii

Strângerea [mm]	0,06	0,08	0,10
Lungimea L [mm]	Presiunea de contact p [daN/cm ²]		
5	425	580	725
20	415	570	700
70	430	590	730
90	440	640	850
105	470	700	890

Se constată de asemenea, că cu cât strângerea este mai mare și variația presiunii este mai accentuată, presiunea pe suprafața de contact crește către extremitățile butucului și scade spre mijlocul asamblării, creșterea fiind mai accentuată la partea în care arborele depășește butucul.

2.2.1.2. Strângerea a două piese conice de lungimi diferite, fără abateri de la conicitate

Se consideră în asamblarea din figura 2.25, că atât arborile cât și butucul au același vârf al conurilor suprafeței exterioare a butucului și a suprafeței de contact, iar arborele este plin, aceasta fiind situația cea mai des întâlnită.

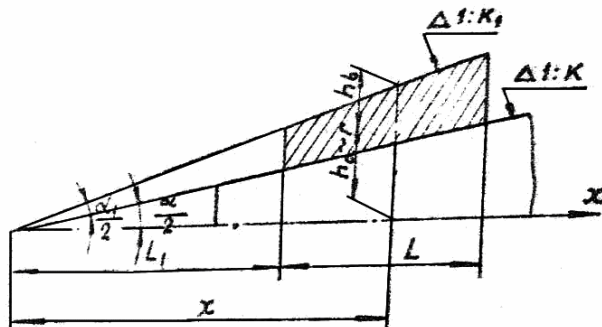


Fig. 2.25 – Asamblare presată pe con cu butuc de lungime finită

În acest caz:

$$h_b = x \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) = x \frac{K - K_1}{2K \cdot K_1}$$

$$h_a = x \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = x \frac{1}{2K}$$

$$r_a = r_b = h_a$$

Relațiile (36) și (37) devin:

$$A(x) = \left[G_b \left(1 + \frac{K - K_1}{2K_1} \right) \left(\frac{K - K_1}{2KK_1} \right) - G_a \frac{1}{4K} \right] x = A' x \quad (57)$$

$$B(x) = \frac{2K}{x} \left(\frac{E_b}{C_b} + \frac{E_a}{C_a} \right) = \frac{B'}{x} \quad (58)$$

Cu notațiile:

$$A' = G_b \frac{K^2 - K_1^2}{4KK_1^2} - G_a \frac{1}{4K} \quad \text{și} \quad B' = 2K \left(\frac{E_b}{C_b} + \frac{E_a}{C_a} \right)$$

Dacă se notează cu „a” deplasarea axială a butucului, rezultă:

$$r_a - r_b = a \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = S/2$$

Relațiile (38) devin:

$$s_a = S \frac{E_a}{C_a} \frac{2K}{x} = \frac{s'_a}{x} \quad \text{și} \quad s_b = S \frac{E_b}{C_b} \frac{2K}{x} = \frac{s'_b}{x},$$

$$s'_a = S \frac{E_a}{C_a} 2K \quad \text{și} \quad s'_b = S \frac{E_b}{C_b} 2K$$

Ecuatiile (39) și (40) se scriu:

$$A' x^2 \frac{d^2 u_b}{dx^2} - B' u_b = -\frac{s'_a}{2} \quad (59)$$

$$A' x^2 \frac{d^2 u_a}{dx^2} - B' u_a = -\frac{s'_b}{2} \quad (60)$$

Notăm:

$$\frac{B'}{A'} = \gamma'^2; \quad S'_a = S \frac{\frac{E_a}{C_a}}{\frac{E_a}{C_a} + \frac{E_b}{C_b}}; \quad S'_b = S \frac{\frac{E_b}{C_b}}{\frac{E_a}{C_a} + \frac{E_b}{C_b}} \quad (61)$$

În acest caz ecuațiile (59) și (60) devin:

$$x^2 \frac{d^2 u_b}{dx^2} - \gamma'^2 u_b = -\gamma'^2 \frac{S'_a}{2} \quad (62)$$

$$x^2 \frac{d^2 u_a}{dx^2} - \gamma'^2 u_a = -\gamma'^2 \frac{S'_b}{2} \quad (63)$$

Pentru o scriere mai clară a soluțiilor acestor ecuații diferențiale, se trece la parametrii adimensionali η și ξ definiți prin alegerea unor lungimi de referință U pentru deformațiile u și X pentru abscisele x :

$$u = U \cdot \eta; \quad x = X\xi; \quad \frac{d^2 u}{dx^2} = \frac{U}{X^2} \frac{d^2 \eta}{d\xi^2}$$

Ecuațiile (62) și (63) capătă forma:

$$\xi^2 \frac{d^2 \eta}{d\xi^2} - \gamma'^2 \cdot \eta = -\gamma'^2 \frac{S'_a}{2U}$$

Soluțiile acestor ecuații diferențiale liniare de tip Euler sunt (cu revenire la parametrii dimensionali):

$$u_b(x) = U \left[M' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1+2\varepsilon)} + N' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1-2\varepsilon)} \right] + \frac{S'_a}{2} \quad (64)$$

$$u_a(x) = -U \left[M' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1+2\varepsilon)} + N' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1-2\varepsilon)} \right] + \frac{S'_b}{2} \quad (65)$$

deoarece ca și în cazul precedent:

$$u_a(x) + u_b(x) = \frac{S}{2}$$

S-a notat pe scurt $2\varepsilon = \sqrt{1 + 4\gamma'^2}$ (γ' este un parametru adimensional).

În domeniul în care butucul nu există, $p(x) = 0$, relația 46 devine în scriere adimensională:

$$\xi^2 \frac{d^2 \eta}{d\xi^2} + \alpha'^2 \eta = 0 \quad (66)$$

$$\text{în care: } \frac{1}{\alpha'^2} = \frac{1}{2} \frac{G_a}{E_a} \frac{C_a}{4K^2} < 1 \quad (67)$$

cu soluția în parametri dimensionali:

$$u_a^* = U \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5} \left[M'_a \sin \left(\delta \ln \frac{x}{X} \right) + N'_a \cos \left(\delta \ln \frac{x}{X} \right) \right], \quad (68)$$

în care s-a notat: $2\delta = \sqrt{4\alpha'^2 - 1}$ ($\alpha' > 1$)

În domeniul în care arborele nu există, $p(x) = 0$, se obține în mod analog relația:

$$u_b^* = U \left[M'_b \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1+2\lambda)} + N'_b \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1-2\lambda)} \right] \quad (69)$$

cu notațiile:

$$\frac{1}{8} \frac{G_b}{E_b} C_b \frac{K^2 - K_1^2}{K^2 K_1^2} = \frac{1}{\beta'^2} \quad \text{si} \quad 2\lambda = \sqrt{1 + 4\beta'^2} \quad (70)$$

În cazul asamblării conice cu strângere din figura 2.26, se scrie:

$$x_1 = x_0 + b;$$

$$x_2 = x_0 + L;$$

$$x_3 = x_0 + L + a = X$$

$$\xi = \frac{x}{X};$$

$$\xi_3 = 1.$$

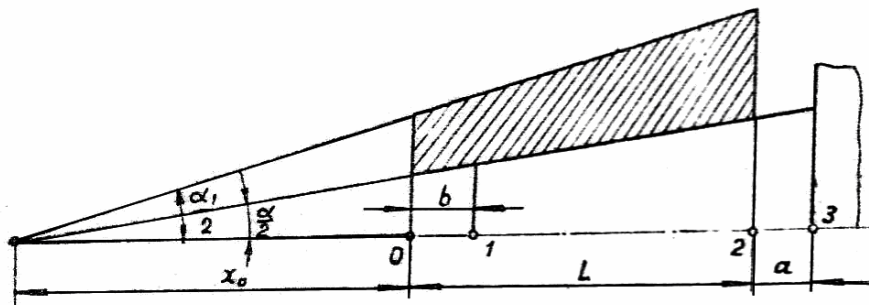


Fig. 2.26 – Asamblare presată pe con cu butuc ce depășește capătul arborelui

Strângerea se obține prin deplasarea axială a butucului cu mărimea „a”, astfel încât strângerea radială absolută să fie: $\frac{S}{2} = a \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = \frac{a}{2K}$

În secțiunea 3 (Fig. 26), se consideră că deformările datorită strângerii sunt neglijabile. Această condiție, prin alegerea $x_3 = X$, se reduce la $N'_a = 0$.

Din celelalte cinci condiții, similar cu ecuațiile (56), se obține un sistem de cinci ecuații liniare:

$$M'_b (1 + 2\lambda) \xi_0^\lambda + N'_b (1 - 2\lambda) \xi_1^{-\lambda} = 0$$

$$M' \xi_1^\varepsilon + N' \xi_1^{-\varepsilon} - M'_b \xi_1^\lambda - N'_b \xi_1^{-\lambda} = -\frac{S'_a}{2U} \xi_1^{0,5} \quad (71)$$

$$M' (1 + 2\varepsilon) \xi_1^\varepsilon + N' (1 - 2\varepsilon) \xi_1^{-\varepsilon} - M'_b (1 + 2\lambda) \xi_1^\lambda - N'_b (1 - 2\lambda) \xi_1^{-\lambda} = 0$$

$$M'_{\xi_2} + N'_{\xi_2} + M'_a \sin(\delta \ln \xi_2) = \frac{S'_b}{2U} \xi_2^{-0,5}$$

$$M' (1 + 2\varepsilon) \xi_2^\varepsilon + N' (1 - 2\varepsilon) \xi_2^{-\varepsilon} + M'_a [\sin(\delta \ln \xi_2) + 2\delta \cos(\delta \ln \xi_2)] = 0$$

Cu ajutorul sistemului (71) se calculează valorile constantelor de integrare: M', N', M'_a, M'_b, N'_b .

În exemplul din figura 2.27, s-a considerat o asamblare presată pe suprafață conică cu strângerea de 0,06 mm, având arborele din oțel și butucul din alamă (cazul elicelor): $E_a = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$; $E_b = 10^5 \text{ N/mm}^2$; $G_a = 8 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$; $G_b = 4 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$; $K = 15$.

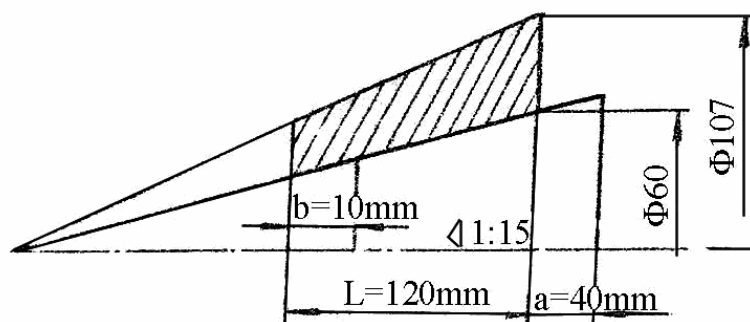


Fig. 2.27 – Dimensiunile luate în calculul unei asamblări presate pe con.

Introducând datele într-un program pentru calculator, rezultă valorile constantelor de integrare: $M' = 79,2$

$$M_a = 0,9536 \cdot 10^{-2}$$

$$M_b = 3,737$$

$$N' = 0$$

$$N'_b = 0,4381 \cdot 10^{-4}$$

Cu aceste valori ale constantelor de integrare, ecuațiile (64), (65), (68) și (69) conduc la curba deformației suprafeței de contact, reprezentată în figura 2.28.

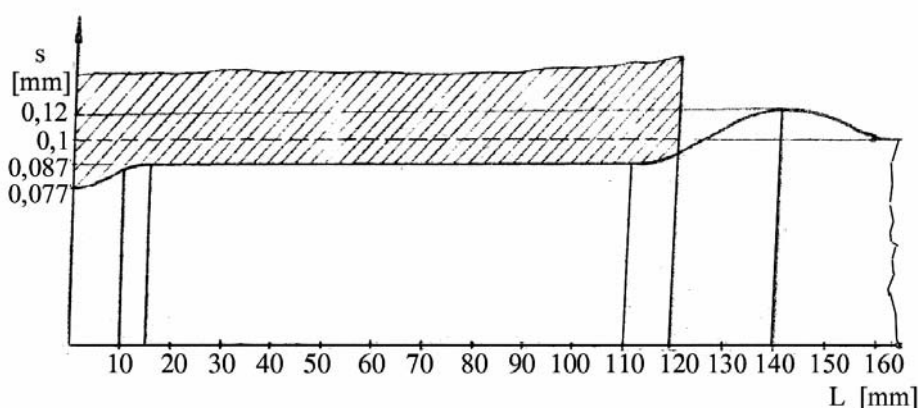


Fig. 2.28 – Deformațiile într-o asamblare presată pe con cu butuc de lungime finită și care depășește capătul arborelui.

Se constată că: deformația arborelui și butucului se păstrează constantă pe întreaga lungime a asamblării cu excepția porțiunilor de capăt; deformația arborelui și a butucului se continuă și în zonele ce nu participă la asamblare, pe o porțiune de aproximativ 30% din lungimea asamblării.

Distribuția presiunii pe suprafața de contact este dată de relația (33). Înlocuind în relația 33, derivata de ordinul doi din relația (63):

$$\frac{d^2 u_a(x)}{dx^2} = \frac{\gamma'^2}{x^2} \left[u_a(x) - \frac{S'_b}{2} \right] \quad \text{si} \quad r_a = \frac{x}{2K} = h_a$$

rezultă:

$$p(x) = u_a(x) \frac{E_a 2K}{C_a x} + G_a \frac{\gamma'^2}{4Kx} \left[u_a(x) - \frac{S'_b}{2} \right],$$

înlocuind $u_a(x)$ din (65) în relația presiunii, se obține:

$$p(x) = -\frac{E_a 2K}{C_a \left(\frac{x}{X}\right) X} \left[CM' \left(\frac{x}{X}\right)^{0,5(1+2\varepsilon)} + CN' \left(\frac{x}{X}\right)^{0,5(1-2\varepsilon)} + \frac{S'_b}{2} \right] \quad (72)$$

unde s-a notat cu:

$$C = U \left(1 + \frac{\gamma'^2 C_a}{8K^2 E_a} G_a \right)$$

Deoarece $N' \equiv 0$, în toate cazurile, relația (72) se poate scrie:

$$p(x) = -\frac{E_a 2K}{C_a \left(\frac{x}{X}\right) X} \left[CM' \left(\frac{x}{X}\right)^{0,5(1+2\varepsilon)} + \frac{S'_b}{2} \right] \quad (73)$$

2.2.2. Influența forțelor centrifuge asupra strângerii pe suprafața de contact

Extinderea îmbinărilor presate și în situațiile când se assemblează piese grele ce lucrează la turații ridicate, face necesară revederea calculului strângerii într-o astfel de asamblare, deoarece neluarea în considerare a eforturilor datorate forțelor centrifuge și care slăbesc strângerea adoptată inițial, poate conduce la distrugerea asamblării.

Se consideră un manșon cilindric, ca în figura 2.29, solicitat de o presiune uniform distribuită la interior, p , la forțe radiale uniforme distribuite pe suprafața exterioară a manșonului, q , datorate influenței maselor aflate în exteriorul manșonului și la forțe de inerție a maselor manșonului x_0 , considerat că se află în mișcare de rotație cu viteza unghiulară ω .

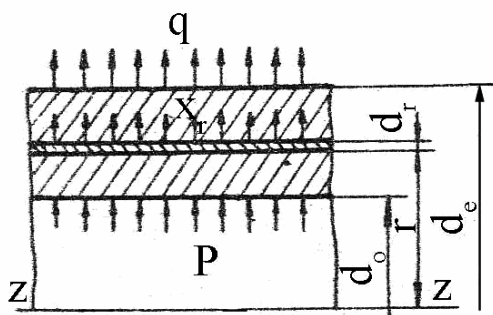


Fig. 2.29 – Manșon cilindric încărcat cu presiune interioară, exterioară și forță de inerție

Se consideră că nu există sarcini axiale iar starea de eforturi este axial simetrică.

Ecuția de echilibru va fi:
$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\rho}{r} + x_r = 0 \quad (74)$$

unde: $x_r = \rho r \omega^2$ (forța de inerție pe unitate de volum)

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{du}{dr} + \nu \frac{u}{r} \right) \quad ; \quad \sigma_\rho = \frac{E}{1-\nu^2} \left(\frac{u}{r} + \nu \frac{du}{dr} \right) \quad (75)$$

Înlocuind 75 în 74 și notând: $\frac{1-\nu^2}{E} \rho \omega^2 = 8a$

se obține ecuația diferențială:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{u}{r^2} + 8ar = 0 \quad (76)$$

care integrată va da soluția:

$$u = kr + k' \frac{1}{r} - ar^3 \quad (77)$$

care se deosebește de ecuația lui Lamé prin termenul $(-ar^3)$

Înlocuind în expresiile eforturilor (relația 75) se obține:

$$\sigma_r = A - B \frac{1}{r^2} - \frac{3+\nu}{8} \rho r^2 \omega^2 \quad (78)$$

$$\sigma_\varphi = A + B \frac{1}{r^2} - \frac{1+3\nu}{8} \rho r^2 \omega^2$$

în care:

$$A = \frac{EK}{1-\nu} \quad ; \quad B = \frac{EK'}{1+\nu} \quad (79)$$

Notând:

$$\alpha = \frac{3+\nu}{8} \rho \omega^2 \quad ; \quad \beta = \frac{1+3\nu}{8} \rho \omega^2 \quad (80)$$

și punând condițiile pe contur, rezultă:

$$A = \frac{(p - \alpha r_o^2) r_o^2 + (q + \alpha r_e^2) r_e^2}{r_e^2 - r_o^2} = A_o + \Delta A \quad (81)$$

$$B = \frac{(p - \alpha r_o^2 + q + \alpha r_e^2) r_o^2 r_e^2}{r_e^2 - r_o^2} = B_o + \Delta B$$

în care s-a notat:

$$A_o = \frac{p r_o^2}{r_e^2 - r_o^2} \quad B_o = \frac{p r_o^2 r_e^2}{r_e^2 - r_o^2} \quad (82)$$

coeficienți valabili pentru cazul particular când $q = 0$ și $\omega = 0$

Dacă notăm $\frac{r_o}{r_e} = \delta$ relația (82) devine:

$$A_o = p \frac{\delta^2}{1 - \delta^2} \quad ; \quad B_o = p \frac{\delta^2}{1 - \delta^2} r_e^2 \quad (83)$$

iar

$$\Delta A = q \frac{1}{1 - \delta^2} + \alpha r_e^2 (1 + \delta^2) \quad (84)$$

$$\Delta B = q \frac{\delta^2}{1 - \delta^2} r_e^2 + \alpha r_e^4 \delta^2$$

Raza interioară r_o a manșonului se mărește cu:

$$U = k r_o + k' \frac{1}{r_o} - \alpha r_o^3 \quad (85)$$

$$\text{unde: } k = \frac{1-\nu}{E} A \quad ; \quad k' = \frac{1+\nu}{E} B \quad (86)$$

$$\text{rezultă: } u = u_o + \Delta u \quad (87)$$

în care u_o reprezintă creșterea razei manșonului, datorită presiunii p , iar Δu reprezintă creșterea razei datorită forțelor centrifuge.

$$u_o = \frac{pr_o}{E} \left[\frac{1 + \delta^2}{1 - \delta^2} + \nu \right] \quad (88)$$

$$\Delta u = \frac{r_e}{E} \left[\frac{2q}{1 - \delta^2} + \frac{3 + \nu}{B} \rho \omega^2 r_e^2 (2 - \nu \delta^2 + \delta^2) - \frac{1 - \nu^2}{8} \rho \omega^2 r_o^2 \right] \quad (89)$$

Pentru a studia deformațiile arborelui, se consideră un manșon cilindric supus la presiunea exterioară uniform distribuită p și la forțele centrifuge ale masei proprii x , ca în figura 2.30.

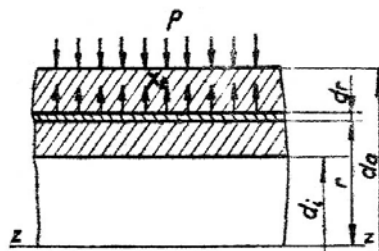


Fig. 2.30 – Arbore tubular încărcat cu presiune exterioară și forță de inerție

Ecuțiile stării de tensiuni sunt aceleași ca în problema manșonului exterior, cu deosebirea condițiilor pe contur. Expresiile eforturilor vor fi:

$$\sigma'_r = A' - B' \frac{1}{r^2} - \frac{3 + \nu'}{8} \rho' \omega^2 r^2 \quad (90)$$

$$\sigma'_\varphi = A' + B' \frac{1}{r^2} - \frac{1 + 3\nu'}{8} \rho' \omega^2 r^2$$

$$\text{Notând cu: } \alpha' = \frac{3 + \nu'}{8} \rho' \omega^2 \quad \beta' = \frac{1 + 3\nu'}{8} \rho' \omega^2 \quad (91)$$

și punând condițiile de contur, rezultă:

$$A' = -\frac{p}{1 - \delta'^2} + \alpha' r_o (1 + \delta') = A'_o + \Delta A' \quad (92)$$

$$B' = -pr_o^2 \frac{\delta'^2}{1 - \delta'^2} + \alpha' r_o^4 \delta'^2 = B'_o + \Delta B'$$

$$\text{în care: } \delta' = \frac{r_i}{r_o}$$

Raza exterioară r_o a arborelui se mărește cu:

$$u' = kr_o + k' \frac{1}{r_o} - a' r_o^3 \quad (93)$$

unde:

$$k = \frac{1 - \nu'}{E'} A' ; \quad k' = \frac{1 + \nu'}{E'} B' ; \quad a' = \frac{1 - \nu'^2}{8E'} \rho' \omega^2 \quad (94)$$

$$\text{Rezultă: } u' = u'_o + \Delta u' \quad (95)$$

în care u'_o reprezintă micșorarea razei arborelui datorită presiunii p , iar $\Delta u'$ reprezintă mărirea razei arborelui datorită forțelor centrifuge.

$$u'_o = -\frac{p r_o}{E'} \left(\frac{1 + \delta'^2}{1 - \delta'^2} - \nu' \right) \quad (96)$$

$$\Delta u' = \frac{r_o^3 \rho' \omega^2}{4E'} (1 - \nu' + 3\delta'^2 + \nu' \delta'^2) \quad (97)$$

Suplimentul de strângere necesar, față de îmbinarea presată fără forțe centrifuge, este:

$$\Delta S = \Delta u - \Delta u' \quad (98)$$

Făcând aceste calcule în cazul presării unei elici pe arborele port-elice la nava de 6100 tdw, la care puterea motorului $P = 6100$ CP, turația $n = 150$ rot/min, forța axială de împingere a navei $T = 8 \cdot 10^4$ daN și greutatea elicei $G = 7910$ daN se ajunge la concluzia că strângerea calculată în cazul neluării în considerare a forțelor centrifuge, trebuiește majorată cu 10% în cazul că se ține cont de aceste forțe, majorare care de altfel nu poate fi neglijată.

2.2.3. Influența erorilor de conicitate asupra strângerii

În urma prelucrării, între conurile suprafețelor conjugate ce urmează a fi asamblate prin presare, rezultă o diferență unghiulară γ , aceasta conducând la contractul inițial superior (fig.2.7) sau inferior (fig.2.8).

Înainte de montaj, abaterea unghiulară γ se remarcă prin jocul diametral diferit la capetele asamblării.

Tinând seama de faptul că la asamblările presate pe con se poate ajunge la montaj, cel puțin într-un loc, la presiunea maximă admisibilă, cu diagrama din figura 2.33 se găsește abaterea unghiulară maximă admisibilă (γ_{ad}), având în vedere că:

$$\operatorname{tg} \gamma_{ad} = \frac{\alpha_{\max}}{l} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (99)$$

Această abatere admisibilă nu trebuie să fie depășită, deoarece de la această valoare o parte a asamblării nu mai contribuie la transmiterea sarcinilor exterioare.

Din cauza abaterii unghiulare, după presare, strângerea și distribuția de presiuni suferă modificări în lungul asamblării.

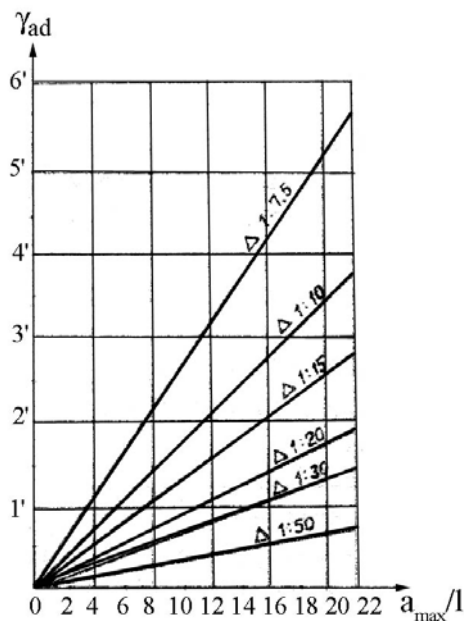


Fig. 2.33 – Abaterea unghiulară maximă admisă la suprafețele presate pe con

Cu notațiile din figura 2.25, la contactul superior, strângerea este dată de relația:

$$S(x) = 2 \left[a \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (x_o + L - x) \operatorname{tg} \gamma \right] \quad (100)$$

iar la contactul inferior, strângerea se calculează cu relația:

$$S(x) = 2 \left[a \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - (x - x_o - b) \operatorname{tg} \gamma \right] \quad (101)$$

unde a – avansul axial

Distribuția teoretică a presiunii pe suprafața de contact devine:

$$p(x) = -\frac{2K.E_a}{x.C_a} \left[C \cdot M' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1+2\varepsilon)} + C \cdot N' \left(\frac{x}{X} \right)^{0,5(1-2\varepsilon)} + \frac{S_b''}{2} \right] \quad (102)$$

$$\text{în care: } S_b'' = S(x) \cdot \frac{\frac{E_a}{C_b}}{\frac{E_a}{C_a} + \frac{E_b}{C_b}}$$

Modificarea presiunii, datorită abaterii de la conicitate va fi:

- în cazul contactului superior:

$$\Delta p'(x) = (x_o + L - x) \operatorname{tg} \gamma \cdot \frac{2K.E_a}{x.C_a} \cdot \frac{\frac{E_b}{C_b}}{\frac{E_a}{C_a} + \frac{E_b}{C_b}} \quad (103)$$

- în cazul contactului inferior:

$$\Delta p''(x) = (x - x_o - b) \operatorname{tg} \gamma \cdot \frac{2K.E_a}{x.C_a} \cdot \frac{\frac{E_b}{C_b}}{\frac{E_a}{C_a} + \frac{E_b}{C_b}} \quad (104)$$

În cazul prezentat în figura 27, când: $b = 10$ mm; $c = 40$ mm; $l = 120$ mm; conicitatea $l:15$; $D_l = 60$ mm; $D_e = 107$ mm; $E_q = 2 \cdot 10^5$ N/mm²; $E_b = 10^5$ N/mm²; $G_a = 8 \cdot 10^4$ N/mm²; $G_b = 4 \cdot 10^4$ N/mm²; avansul maxim calculat $a_{\max} = 1,62$ mm, iar $a_{\max}/L = 14,7 \cdot 10^{-3}$, deci conform diagramei din fig. 33, abaterea unghiulară maximă admisă $\gamma_{ad} = 1'50''$.

Adoptând diverse valori pentru abaterea unghiulară $\gamma < \gamma_{ad}$ se obțin, pentru avansul $a = 1,5$ mm distribuțiile teoretice de presiuni, indicate în tabelul 2.4 și figura 2.34 în cazul contactului superior și figura 2.35 în cazul contactului inferior.

Tabelul 2.4. - Presiunea de contact în cazul abaterilor unghiulare

x(mm)	79	82	85	88	90	79	82	85	88	90	79	82	85	88	90
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abaterea unghiului		$\gamma = 30''$					$\gamma = 1''$					$\gamma = 1'30''$				
Cont sup.	$\Delta p'(x) \text{ N/mm}^2$	23	16	10	3	0	47	33	20	7	0	71	50	30	11	0
	$p'(x) \text{ N/mm}^2$	50	55	59	63	10_9	26	38	49	59	10_9	2	21	39	55	10_9
Cont inf.	$\Delta p''(x) \text{ N/mm}^2$	0	6	12	17	20	0	12	24	34	41	0	18	36	52	62
	$p''(x) \text{ N/mm}^2$	74	66	57	49	88	74	59	45	31	67	74	53	33	14	47

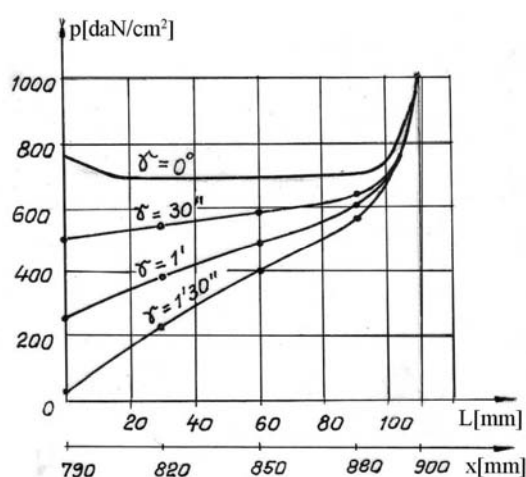


Fig. 2.34 – Distribuția teoretică de presiuni în asamblările pe con cu contact superior, pentru diverse abateri unghiulare

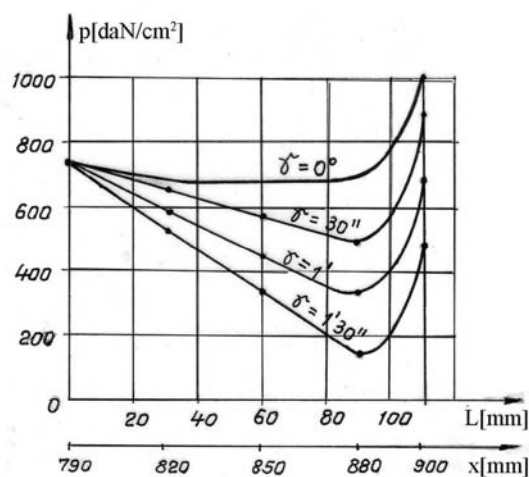


Fig. 2.35 – Distribuția teoretică de presiuni în asamblările pe con cu contact inferior, pentru diverse abateri unghiulare

Se constată că:

- la un avans axial mic, la asamblări cu abateri unghiulare nu se mai realizează contactul pe toată suprafața conului, pentru realizarea unui contact total este necesar un avans axial: $a^* = 2.l.k.tg\gamma$;
- chiar în cazul unui avans axial mare, când abaterea unghiulară se apropie de cea admisibilă, presiunea de contact la unul din capete tinde la zero;
- distribuția de presiuni este uneori mai avantajoasă, în cazul abaterilor unghiulare, la contactul inferior, deoarece în acest caz se reduce concentratorul de tensiune de la baza mare a asamblării.

Pentru a verifica experimental distribuția de presiuni obținută, măsurătorile s-au efectuat pe o asamblare cu contact superior și o abatere unghiulară $\gamma = 2'$. Dimensiunile și materialele probelor au fost aceleași cu cele adoptate anterior.

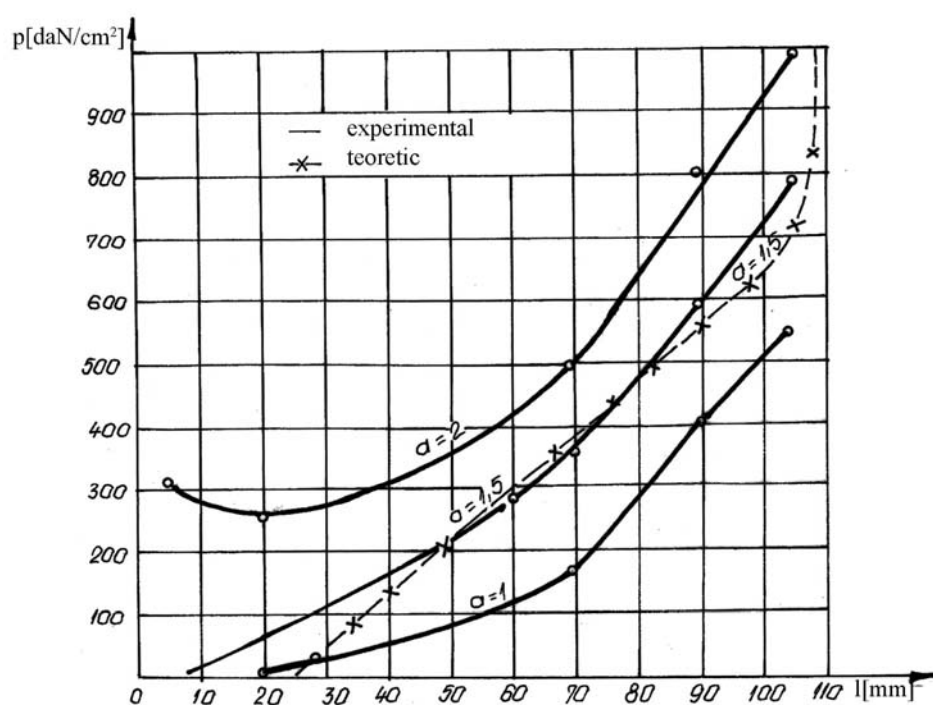


Fig. 2.36 – Distribuția teoretică și experimentală de presiuni pentru asamblare pe con cu contact superior, la diverse strângeri.

Rezultatele experimentărilor au fost trecute în figura 36 și tabelul 5 și se constată o apropiere evidentă între distribuția teoretică a presiunii și cea experimentală.

Tabelul 2.5. - Valorile experimentale ale presiunii la contactul superior

Avans a, [mm] Lung. l, [mm]	1	1,5	2
	Presiunea de contact p. [daN/cm ²]		
5	-	-	314
20	5,6	78	257
70	170	354	495
90	412	597	803
105	550	800	990

Modificarea accentuată a presiunii de contact în cazul abaterilor unghiulare face să scadă capacitatea portantă a asamblării, ajungându-se ca la un unghi γ_{ad} transmisibilitatea momentului de răsucire să fie redusă cu 50%, față de aceea a unei asamblări fără eroare.

Experimental, cu creșterea abaterii unghiulare, se constată o scădere liniară a momentului de răsucire portant al asamblării, ajungând ca la abaterea admisibilă momentul portant să scadă la jumătate (Fig. 2.37 și tabelul 2.6).

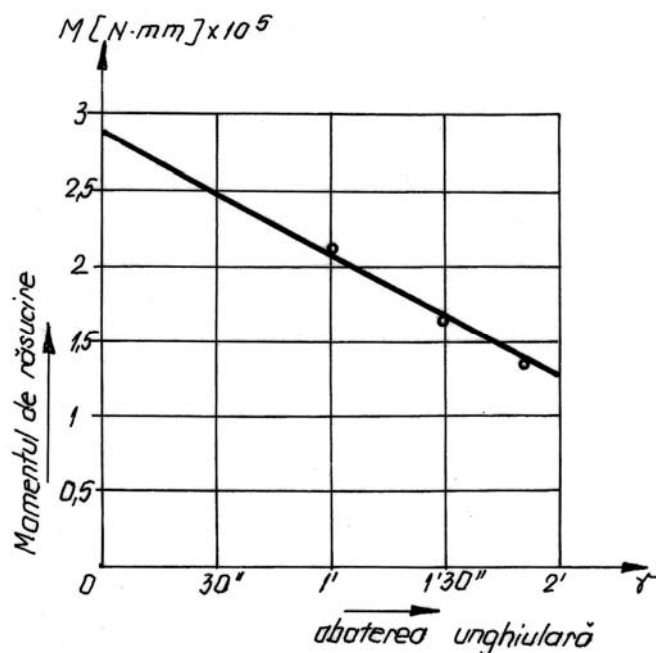


Fig. 2.37 – Variația capacității portante a asamblării cu abaterea unghiulară

Tabelul 2.6. – Variația momentului de răsucire cu abaterea unghiulară

Abaterea unghiulară γ	10''	1'	1' 30''	1' 50''
p [daN/cm ²]	75	58	45	37
Momentul de răsucire M [N·mm] x 10 ⁶	2,78	2,15	1,57	1,37

De aici se impune ca în calculul avansului minim $a_{\min}$ necesar să se admită un coeficient de siguranță egal cu 2 pentru momentul de transmis, astfel ca la o abatere unghiulară maximă admisibilă γ_{ad} să existe certitudinea transmiterii integrale a momentului portant.

Pentru mărirea siguranței în exploatare, montajul se poate realiza cu un avans maxim $a_{\max}$, mergând în unele zone a asamblării până la limita de elasticitate a materialului.

Această strângere maximă introduce totuși concentratori de tensiune prea mari, micșorând rezistența la oboseală. Siguranța transmiterii momentului de răsucire se realizează dacă, se imprimă un avans inițial butucului a^* , care să compenseze abaterea de la diametrul Δd .

2.2.4. Influența încovoierii elicei asupra strângerii

În practică sunt foarte frecvente cazurile de solicitare la încovoiere a asamblărilor presate. În acest caz câmpul de presiuni de contact, altfel uniform distribuit după unghiul φ într-o secțiune transversală, va suferi variații.

Cel mai simplist model de evaluare a încovoierii este modelul rigid (Fig.38). Față de distribuția uniformă a presiunii inițiale p , prin aplicarea momentului încovoiător M_i , tendința de rotire relativă a pieselor asamblării este împiedicată de o nouă distribuție de presiuni, liniară, variind între limitele:

$$\begin{cases} p_{\max} = (1 + \alpha) \cdot p \\ p_{\min} = (1 - \alpha) \cdot p \end{cases} \quad (105)$$

unde $p = (p_{\max} + p_{\min}) / 2$, iar α este coeficientul de variație liniară.

Pentru ca presiunea să nu scadă sub o valoare admisibilă p_{amin} , dată de α_a , prin calcule rezultă că presiunea inițială medie trebuie să fie superioară valorii:

$$p \geq \frac{3M_i}{\alpha_a \cdot d \cdot l^2} \quad (106)$$

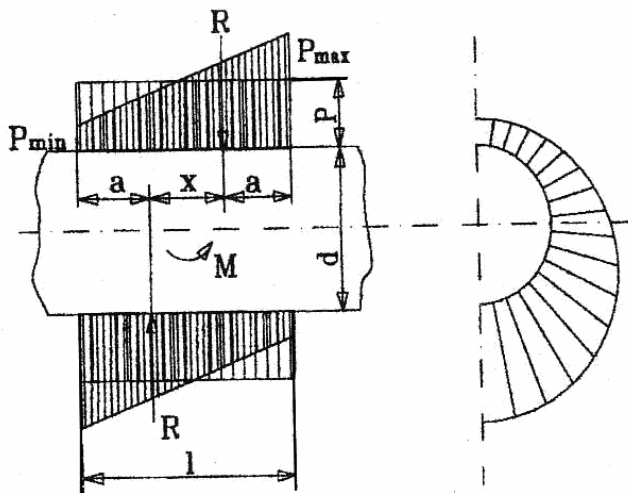


Fig.2.38. Distribuția de presiuni într-o asamblare presată solicitată la încovoiere.

Dacă se admite $\alpha_a = 0,6$ rezultă:

$$p \geq \frac{5M_i}{d \cdot l^2} \quad (107)$$

Modelul este grosier, neglijând deformațiile, dar poate fi totuși acceptat pentru cazul arborilor scurți și groși, pe care sunt montați butuci rigizi, cum este cazul elicelor, cârmelor, cuplajelor, roților dințate etc.

2.2.5. Influența formei exterioare a butucului elicei

2.2.5.1. Studiul tensiunilor în asamblările presate cu periferie necirculară

Asamblarea presată cu periferie necirculară trebuie analizată pentru a se stabili tensiunile și deformațiile care apar în elice, ea având dispuse pe periferia butucului pale.

Încercarea de a integra sistemul de ecuații scris pentru un butuc de grosime constantă s-a lovit de necesitatea găsirii unei funcții potențial care să conducă la o soluție capabilă să verifice condițiile la limită pe frontierele domeniului de integrare. De aceea a fost preferată integrarea numerică prin metoda diferențelor finite.

a) Cazul butucului cu forma periferică variind liniar.

Pentru a putea face comparația cu butucul cu periferie circulară și cu alte forme ale periferiei, pentru început a fost aleasă o situație în care forma variază continuu și anume cazul unui butuc cu raza crescătoare liniar cu unghiul φ în intervalul unui unghi de cuprindere α_c , în acest caz ales de 90° , butucul prezentând două plane de simetrie (Fig.2.39). Arborele a fost considerat plin, deoarece arborele port-elice este de obicei plin și în cazuri mai rare este tubular.

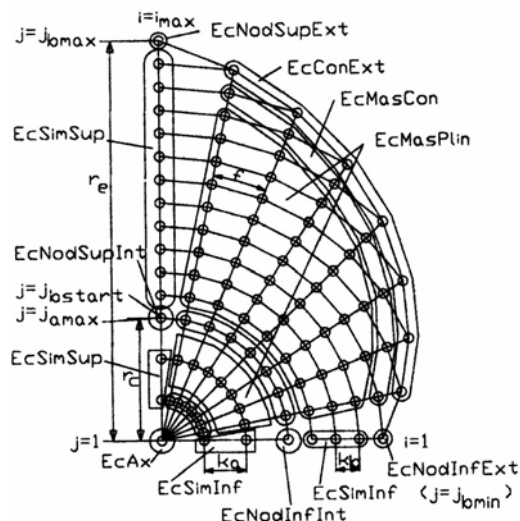


Fig.2.39. Forma unui sfert din asamblare și discretizarea în noduri.
Valorile dimensionale adoptate pentru asamblarea studiată sunt:

$r_b / r_c = 1,75$ și $r_e / r_c = 3,25$ unde:

r_c – raza la suprafața de contact;

r_e – raza la punctul cel mai îndepărtat de la exteriorul butucului;

r_b – raza la punctul cel mai apropiat de la exteriorul butucului.

Rezolvarea sistemelor de ecuații obținute s-a efectuat prin folosirea procedurii de triangularizare prin reordonarea matricelor după pivoți de valoare maximă, urmată de retrosubstituție Gaussiană. Deplasările obținute ca rezultat au servit la determinarea tensiunilor σ_r , σ_t și τ iar tensiunea echivalentă, prin aplicarea formulei pentru starea plană:

$$\sigma_{ech} = \sqrt{\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_t + \sigma_t^2 + 3\tau^2} \quad (108)$$

S-au neglijat tensiunile în sens axial deoarece acestea sunt foarte mici.

Curbele de nivel constant ale acestor tensiuni sunt prezentate în figurile 2.40, 2.41, 2.42, 2.43.

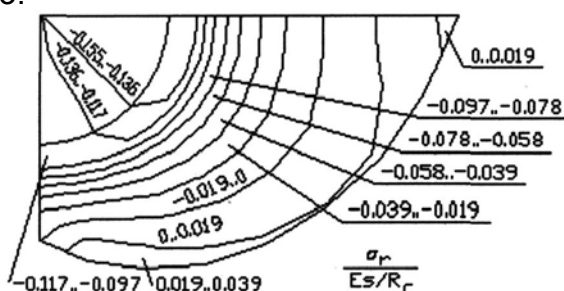


Fig.2.40 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens radial

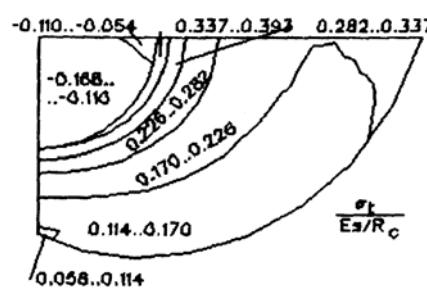


Fig.2.41 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens tangențial

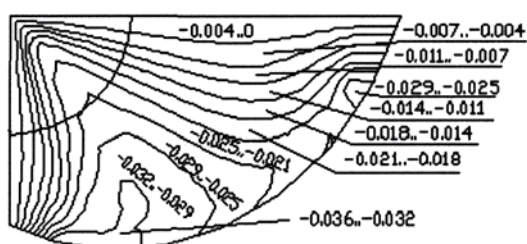


Fig.2.42 Curbele de nivel constant ale tensiunilor tangențiale

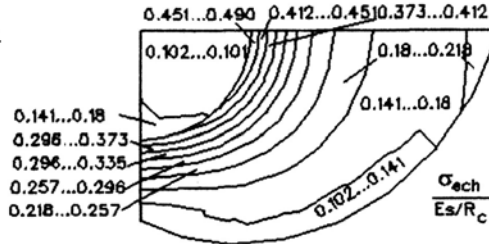


Fig.2.43 Curbele de nivel constant ale tensiunilor echivalente

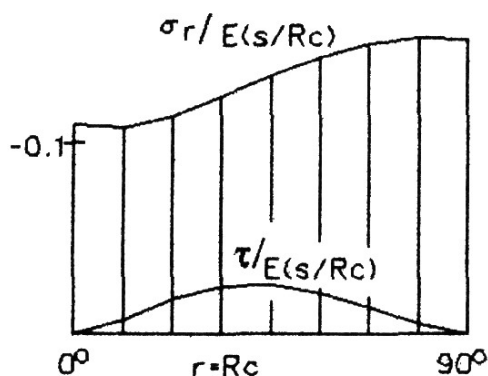


Fig.2.44 Variația tensiunilor σ_r și τ cu unghiul φ pe suprafața de contact

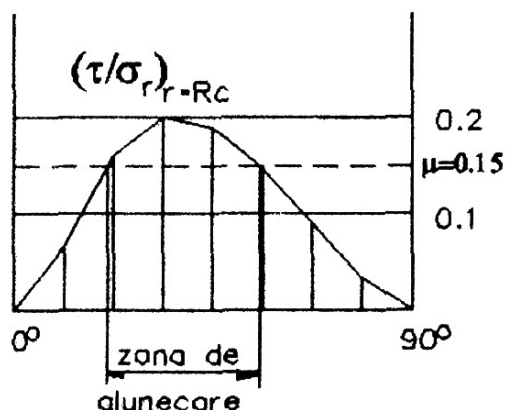


Fig.2.45 Variația raportului τ/σ_r cu unghiul φ pe suprafața de contact

Se observă că:

- În arbore tensiunile σ_r variază relativ puțin cu raza dar variază mult față de unghiul φ , ceea ce conduce la o distribuție neuniformă a presiunilor de contact (Fig.44);
- Tensiunile σ_t sunt mai mari în partea mai groasă a butucului fig.41, ceea ce se explică printr-un mecanism de deformare oarecum asemănător cu acela al încovoierii unei grinzi încastrate în secțiunea de grosime maximă;
- În funcție de geometria asamblării și materialele ei, raportul τ/σ_r are valori maxime într-o secțiune axială medie (la $\varphi = 45^\circ$), fig. 45, poate depăși valoarea coeficientului de frecare între suprafețe μ , ceea ce poate conduce la apariția de microalunecări locale ale suprafețelor în contact. Totuși, chiar dacă alunecarea nu are loc datorită raportului τ/σ_r redus, vârful de tensiuni τ rămâne ca o încărcare superficială permanentă care se va suprapune peste valoarea constantă a tensiunii τ_f indusă de momentul de torsiune:

$$\tau_f = \frac{2M_t}{\pi d^2 l} \quad (109)$$

Astfel că, tensiunea totală de forfecare în exploatare va fi:

$$\tau_{tot} = \tau_f + \tau(r_c, \varphi) \quad (110)$$

Când raportul $\tau_{tot}(\varphi)/\sigma_r(r_c, \varphi) > \mu$ se va produce alunecarea relativă a suprafețelor.

Dacă solicitarea este variabilă, așa cum se întâmplă la elice, se va produce uzura de fretare a cărei intensitate va depinde de amplitudinea și frecvența alunecărilor.

Pentru a pune în evidență spectrul de tensiuni, a fost construit un model din OL50 cu dimensiunile din fig.2.46. Mărcile tensometrice au fost amplasate pe suprafața frontală notată cu L. Au fost măsurate deformațiile specifice ε_r și ε_t pe baza cărora s-au calculat tensiunile σ_r și σ_t ale căror valori sunt date în tabelul 7 iar diagramele sunt prezentate în figurile 47, 48 și 49 pentru unghiurile $\varphi = 90^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ și $\varphi = 0^\circ$.

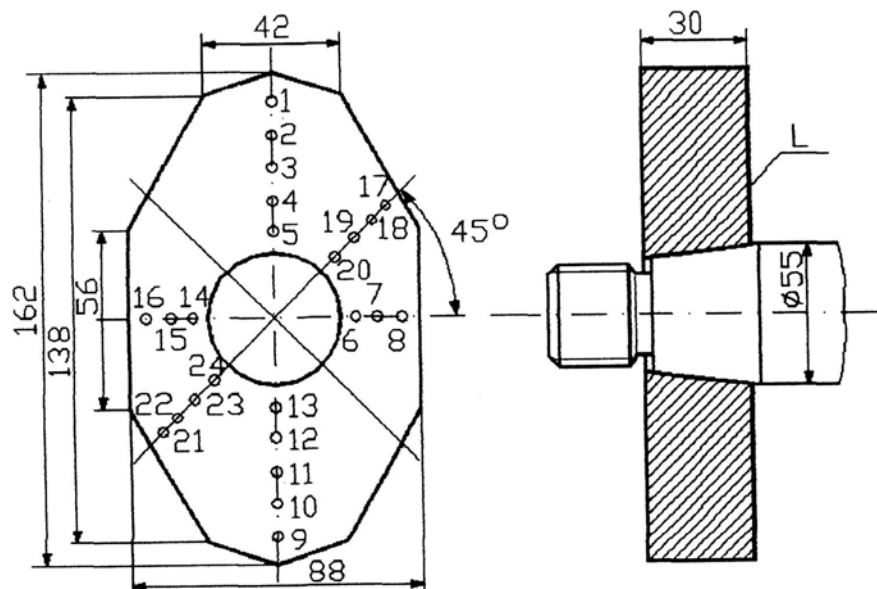


Fig.2.46 Model experimental de butuc cu periferie necirculară

Tabelul 2.7 Deformațiile specifice măsurate tensometric în diverse poziții

Poz	$\varepsilon_r \cdot 10^6$	$\varepsilon_t \cdot 10^6$	$\sigma_r(Es/R_c)$	$\sigma_t(Es/R_c)$
1/9	-120	700	0.027	0.204
2/10	-170	650	0.008	0.184
3/11	-250	600	-0.021	0.161
4/12	-500	880	-0.072	0.224
5/13	-800	1200	-0.123	0.295
6/14	-700	1200	-0.092	0.304
7/15	-400	700	-0.058	0.178
8/16	-200	500	-0.015	0.135
17/21	-100	410	0.007	0.116
18/22	-200	600	0	0.166
19/23	-400	800	-0.049	0.209
20/24	-700	1120	-0.112	0.280

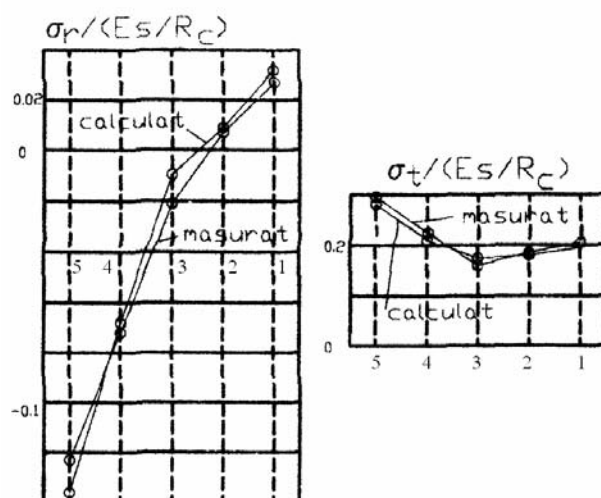


Fig.2.47 Tensiunile radiale și tangențiale pentru $\varphi = 90^\circ$

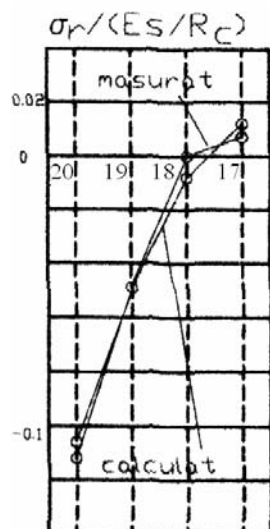


Fig.2.48 Tensiunile radiale și tangențiale pentru $\varphi = 45^\circ$

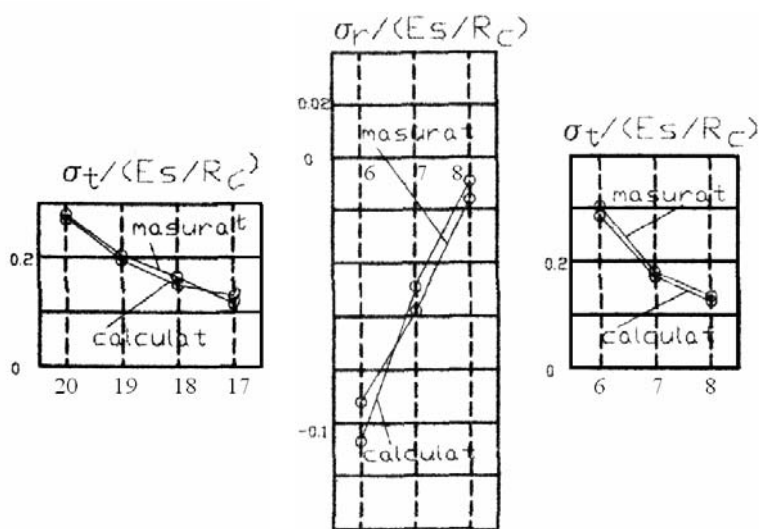


Fig.2.49 Tensiunile radiale și tangențiale pentru $\varphi = 0^\circ$

Se observă o bună concordanță a valorilor măsurate față de rezultatele calculului numeric. Anumite diferențe pot fi explicate prin influența efectului de capăt al suprafeței frontale care, față de cazul asamblării infinit lungi, produce anumite deviații ale valorilor tensiunilor.

b) Cazul butucului cu periferie variind în trepte
Acesta este și cazul elicelor navale (Fig. 2.50).

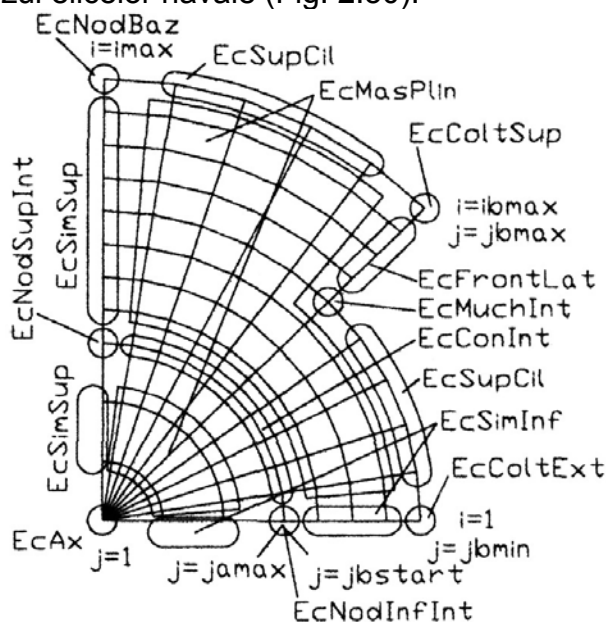


Fig.2.50 Forma unui sfert din asamblare, discretizarea în noduri și deformațiile suferite la montaj.

Procedura de prelucrare și programele utilizate sunt analoage celor prezentate în cazul (a), cu adaptările impuse de structura diferită a rețelei de noduri.

În figurile 2.51, 2.52, 2.53, 2.54, 2.55 și 2.56 sunt prezentate rezultatele obținute pentru asamblarea cu arbore plin. Rezultatele prezintă unele similitudini cu cele de la asamblarea cu periferie variind liniar.

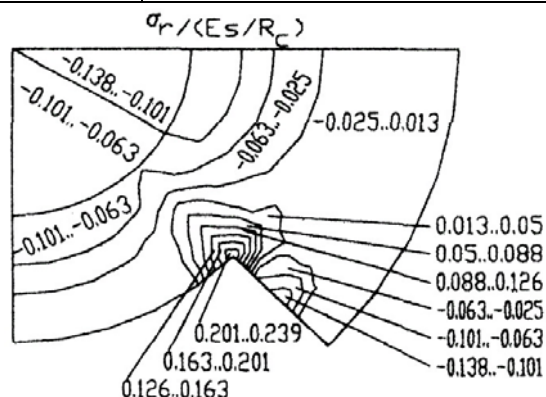


Fig.2.51 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens radial

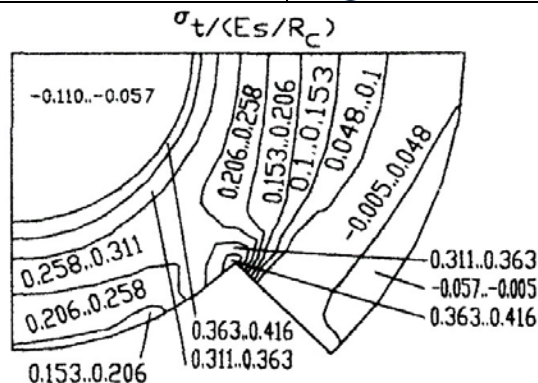


Fig.2.52 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens tangențial

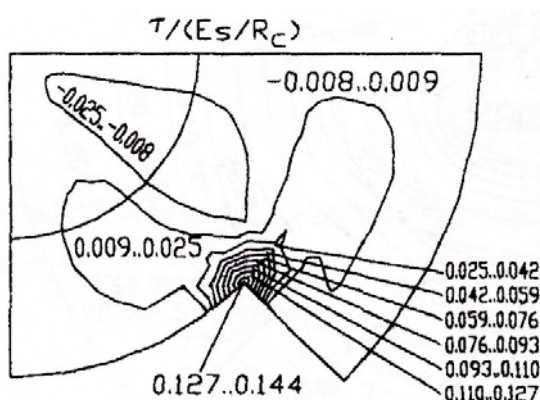


Fig.2.53 Curbele de nivel constant ale tensiunilor tangențiale

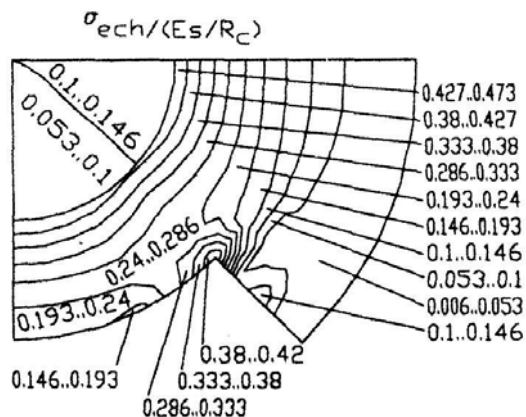


Fig.2.54 Curbele de nivel constant ale tensiunilor echivalente

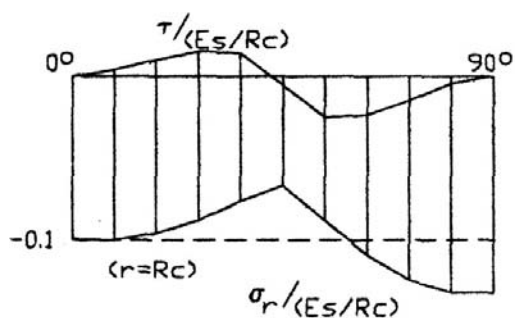


Fig.2.55 Variația tensiunilor σ_r și τ cu unghiul ϕ pe suprafața de contact

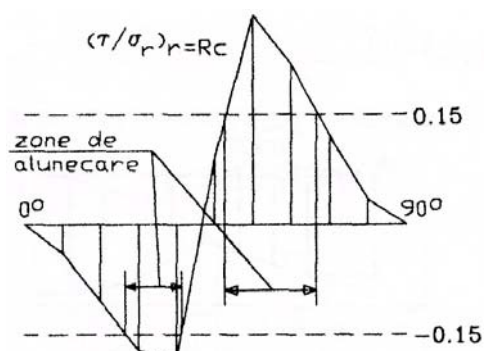


Fig.2.56 Variația raportului τ / σ_r cu unghiul ϕ pe suprafața de contact

Influența saltului brusc al razei frontierei exterioare constă în:

- apariția de zone de concentrare a tensiunilor, în special în butuc, în zonele de discontinuitate a formei acestuia. Aceasta impune ca, în cazul presării de piese cu astfel de discontinuități de formă, să se aibă în vedere o proiectare cu racordări suficient de mari pentru a reduce aceste concentrări la valori mai puțin

periculoase. Dacă în aceste zone trebuie aplicată și sudura, trebuie avut în vedere că aceste tensiuni provenite de la montajul elicei se însumează cu cele create prin sudare iar suma lor nu trebuie să depășească 0,65 din rezistența admisibilă a materialului;

- apariția a două extreme alăturate ale tensiunilor de forfecare superficiale τ , un maxim și un minim, situate în vecinătatea secțiunii axiale de salt. Aceasta face ca la suprafața de contact să existe zone cu risc crescut de apariție a uzurii de fretare dacă la zona de trecere nu sunt prevăzute racordări ample (Fig. 56).

2.2.5.2 Studiul tensiunilor în asamblările presate cu generatoare neliniară.

Termenul de generatoare neliniară s-a folosit pentru a desemna o formă exterioară a butucului al cărui diametru nu este constant în sensul că, deși cilindric, suferă salturi de diametru bruște.

Din aceleași motive de dificultate a integrării analitice, și aici a fost preferată metoda diferențelor finite.

În scopul efectuării unor comparații cu rezultatele expuse în paragraful 2.1., pentru început, a fost rezolvată problema asamblării cu **butuc având generatoare liniară** (diametru constant) și arbore plin.

Rapoartele dimensionale adoptate au fost: $r_c = 200$ mm, $r_b/r_c = 2$, $l_b/r_c = 1$, $l_a/l_b = 2$. Strângerea diametrală adoptată a fost $s = 2r_c/500$ iar ca material unic a fost considerat oțelul. S-a procedat la discretizarea asamblării conform figurii 2.57.

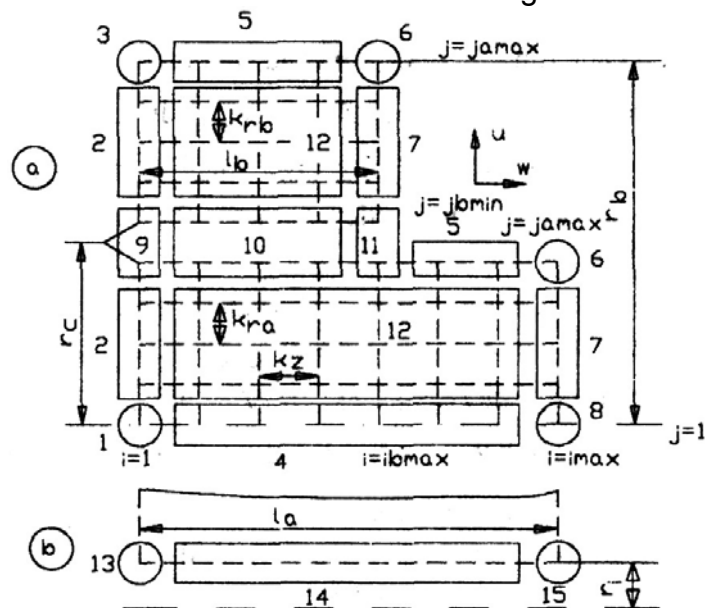


Fig. 2.57 Discretizarea asamblării arbore plin și butuc cu generatoare liniară.

Aplicând metoda indicată mai sus, s-au obținut deformațiile la nivelul suprafeței de contact, prezentate în figura 2.58, comparate cu valorile furnizate de teoria lui Lamé. Valorile obținute prin metoda diferențelor finite au confirmat studiul analitic prezentat la paragraful 2.1.

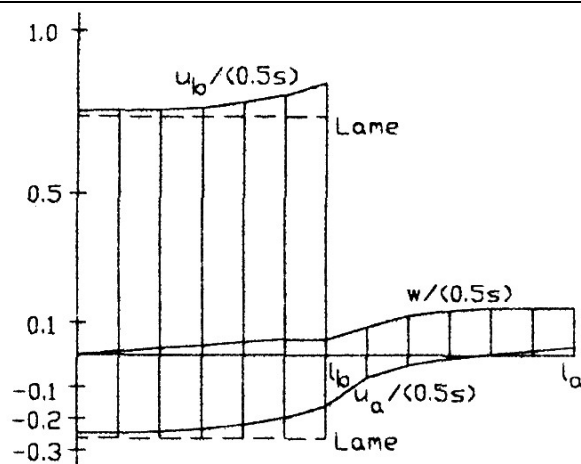


Fig.2.58 Deformațiile la nivelul suprafeței de contact.

În figura 2.59 este prezentată distribuția tensiunilor σ_r în asamblare iar în figurile 2.60, 2.61 și 2.62 sunt prezentate diagramele de distribuție ale tensiunilor σ_t, σ_z și τ .

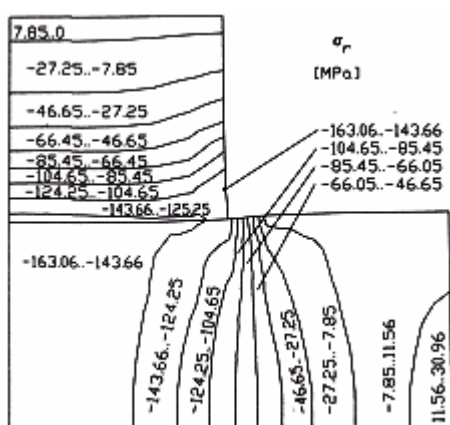


Fig.2.59 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens radial

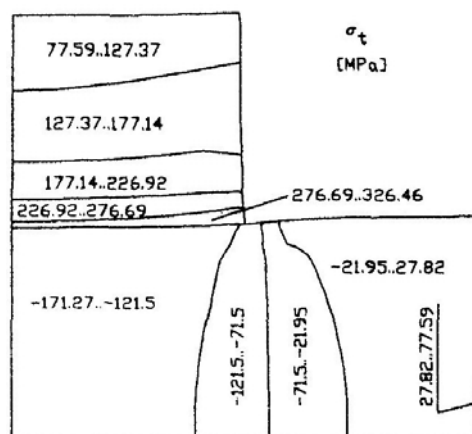


Fig.2.60 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens tangențial

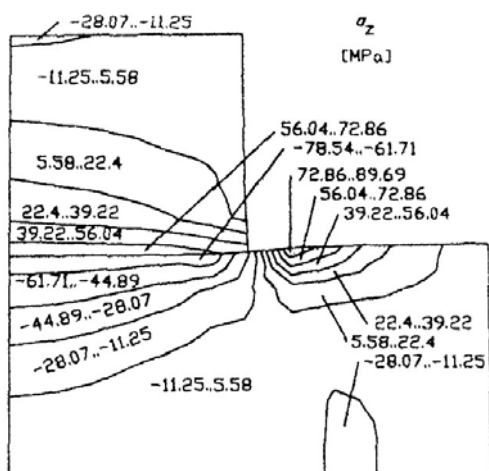


Fig.2.61 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens axial

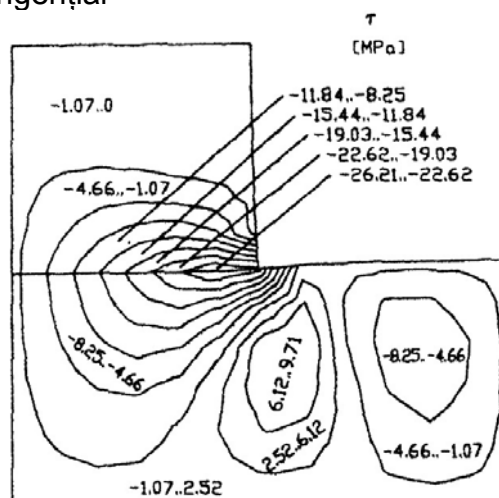


Fig.2.62 Curbele de nivel constant ale tensiunilor tangențiale

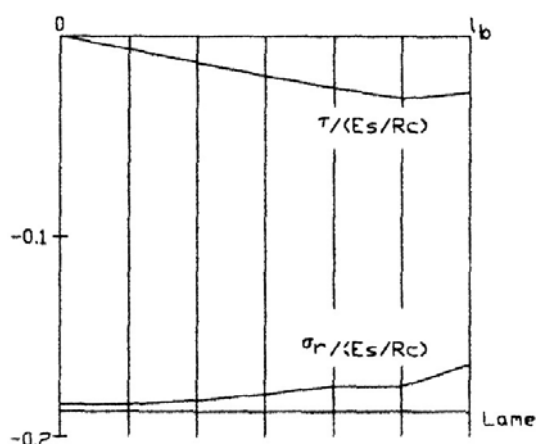


Fig.2.63 Variația tensiunilor σ_r și τ în lungul suprafeței de contact

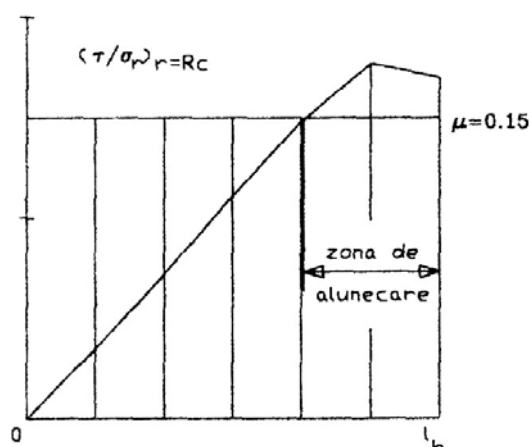


Fig.2.64 Variația raportului τ / σ_r în lungul suprafeței de contact

Se observă:

- o concentrație a tensiunilor la capătul butucului, în special a tensiunilor de forfecare τ (fig.2.62);
- făcând raportul τ / σ_r la nivelul suprafeței de contact se obțin valori care pot depăși pe o anumită zonă valoarea coeficientului de frecare între suprafețe μ . Aceasta înseamnă că pe de o parte, există chiar de la începutul procesului de strângere o alunecare relativă a suprafețelor iar, pe de altă parte, prin inducerea de noi tensiuni de forfecare, de exemplu din încovoiere datorate greutateii elicei și a altor forțe ce acționează pe palele elicei, zona de alunecare de capăt se poate ușor extinde conducând la condiții favorabile dezvoltării uzurii de fretare.

Pentru verificarea acestor constatări s-au efectuat testări pe asamblarea din figura 2.65 la care butucul a fost confecționat din alamă pentru elici navale și arborele din OLC45. Contactul pieselor a fost total, pe suprafață conică, pentru a se realiza o strângere controlabilă iar butucul a avut grosime constantă.

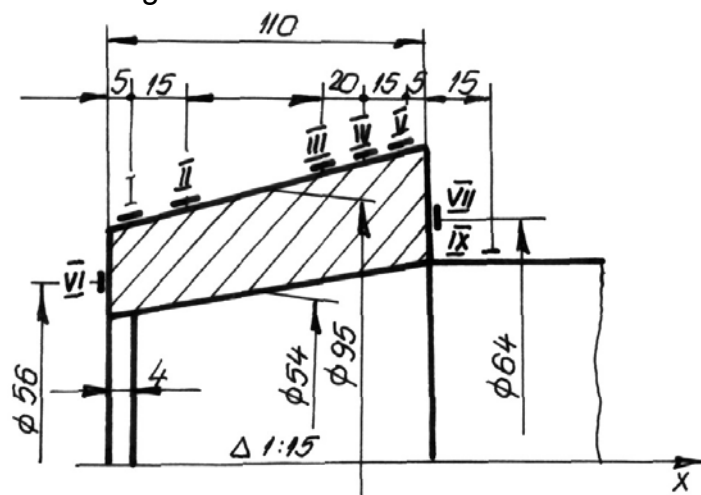


Fig.2.65 Asamblarea de probă pentru stabilirea distribuției de tensiuni

Pentru stabilirea distribuției de tensiuni, pe suprafața asamblării au fost fixate traductoare tensometrice, astfel:

- traductoarele I...V, de la periferia butucului, măsoară tensiunile normale pe direcția tangențială (σ_t);
- traductoarele VI și VII, de pe suprafețele frontale ale butucului (câte trei pe fiecare suprafață, la 120° , pe același diametru) înregistrează tensiunile normale pe direcție radială (σ_r);
- traductorul IX, fixat pe arbore, la 15 mm de capătul butucului, măsoară deformațiile și tensiunile de la periferia arborelui, în afara asamblării, în lungul axei (σ_z).

Valorile obținute experimental au fost înregistrate în tabelele 2.8, 2.9 și 2.10 precum și în figurile 2.66, 2.67 și 2.68.

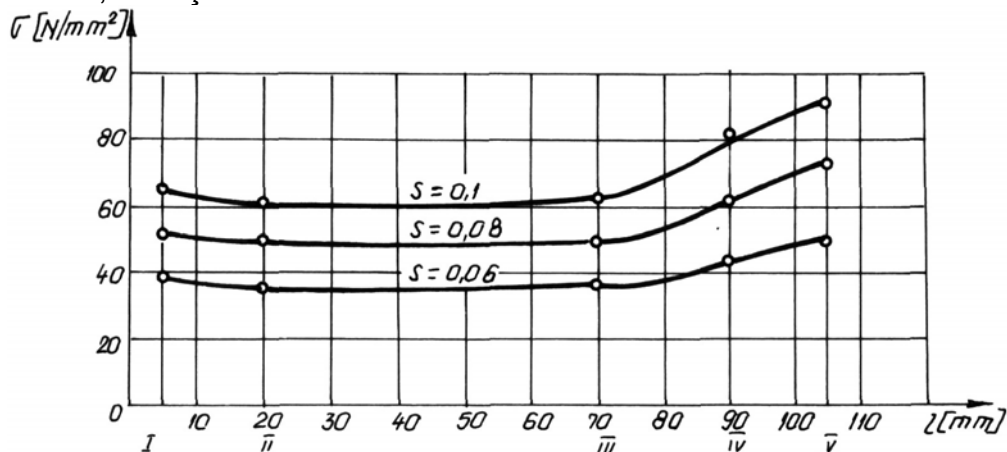


Fig.2.66 Variația tensiunii normale în direcție tangențială cu strângerea, pe lungimea asamblării.

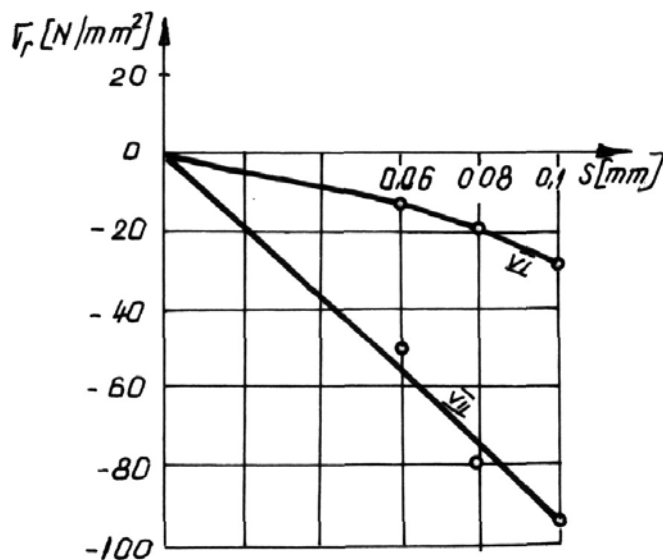


Fig.2.67 Variația tensiunii normale în direcție radială, pe fețele frontale ale butucului.

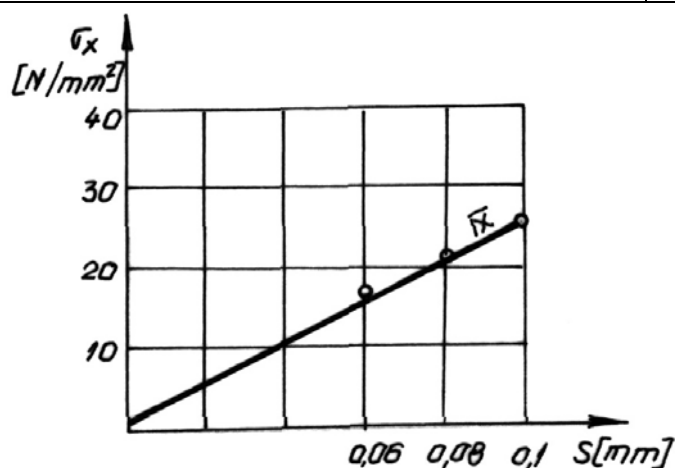


Fig.2.68 Variația tensiunii normale în direcție axială cu strângerea, pe porțiunea de arbore din afara asamblării.

Tensiunile normale pe direcție radială, măsurate pe capetele butucului, confirmă creșterea presiunii pe suprafața de contact la extremități odată cu mărirea strângerii. Tensiunile de întindere a fibrei exterioare a arborelui, care apar în afara asamblării (σ_x), confirmă deformarea arborelui obținută teoretic.

Tabelul 2.8. Tensiuni și deformații normale în direcție tangențială

Traductor tensometric	Strângerea s[mm]	$\epsilon_t \times 10^{-6}$	σ_t [N/mm ²]	Strângerea s[mm]	$\epsilon_t \times 10^{-6}$	σ_t [N/mm ²]	Strângerea s[mm]	$\epsilon_t \times 10^{-6}$	σ_t [N/mm ²]
I	0,06	380	38	0,08	520	52	0,1	643	64,3
II	$\sigma=0,9$	360	36	$\sigma=1,2$	510	51	$\sigma=1,5$	625	62,5
III		370	37		500	50		620	62
IV		430	43		620	62		825	82,5
V		470	47		700	70		880	88

Tabelul 2.9. Tensiuni și deformații normale în direcție radială

Traductor tensometric	Strângerea s[mm]	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	σ_r [N/mm ²]	Strângerea s[mm]	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	σ_r [N/mm ²]	Strângerea s[mm]	$\epsilon_r \times 10^{-6}$	σ_r [N/mm ²]
VI	0,06	-20	-12	0,08	-180	-18	0,1	-280	-28
VII		-500	-50		-800	-80		-940	-94

Tabelul 2.10. Tensiuni și deformații în afara asamblării, pe arbore

Traductor tensometric	Strângerea s[mm]	$\epsilon_z \times 10^{-6}$	σ_z [N/mm ²]
IX	0,06	80	16,8
	0,08	100	21
	0,10	120	25

În cazul asamblării unui **butuc cu generatoare variind în trepte**, aplicând același procedeu, s-au obținut deformațiile de la nivelul suprafeței de contact, figura 2.69. În figurile 2.70, 2.71, 2.72 și 2.73 sunt prezentate tensiunile $\sigma_r, \sigma_t, \sigma_z$ și τ .

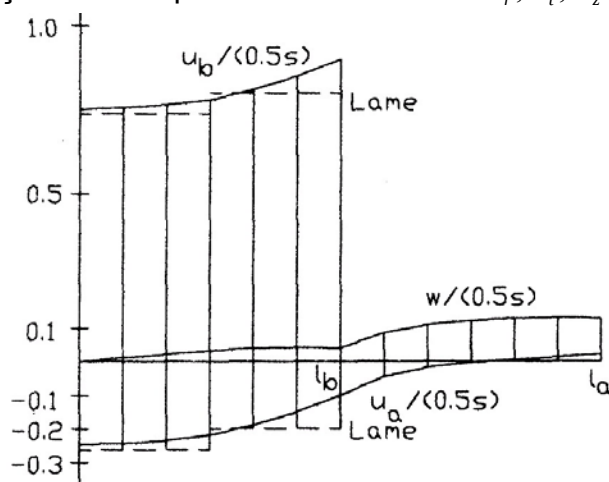


Fig.2.69 Deformațiile la nivelul suprafeței de contact

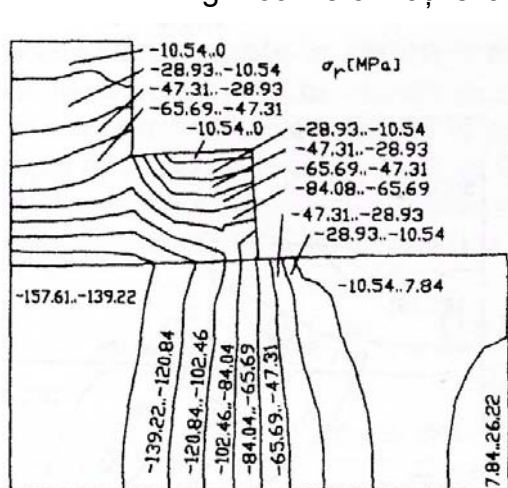


Fig.2.70 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens radial.

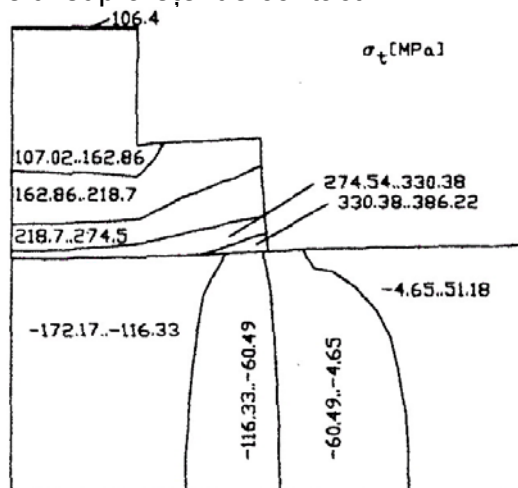


Fig.2.71 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens tangențial.

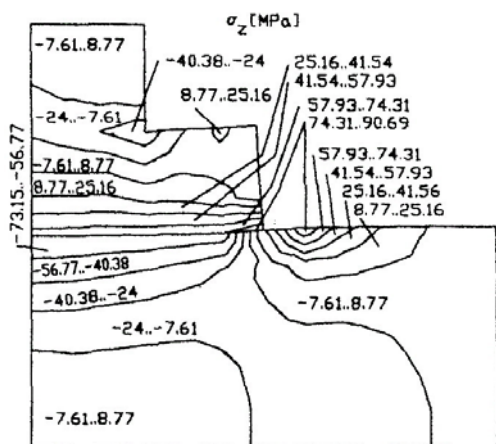


Fig.2.72 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens axial

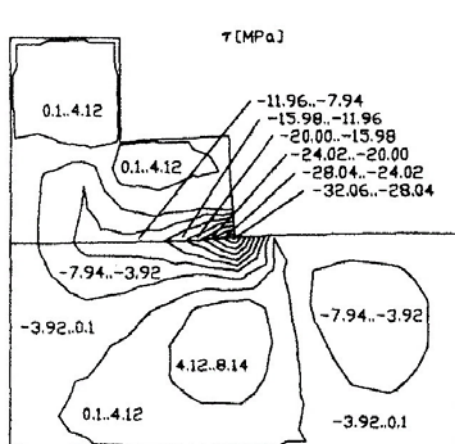


Fig.2.73 Curbele de nivel constant ale tensiunilor tangențiale

Datorită unui mecanism de deformare oarecum asemănător încovoierii, la muchia de trecere de la butuc la disc apar cele mai mari tensiuni de compresiune σ_z . La muchia de intrare, tensiunile τ au valoare mărită comparativ cu butucul cu generatoare liniară, figura 2.74, dar tensiunile radiale sunt mult reduse. Aceasta conduce la un raport τ/σ_r , mult mai mare decât coeficientul de frecare, figura 2.75, ceea ce mărește riscul de alunecare locală însă, în același timp, datorită scăderii presiunii de contact intensitatea uzurii de freting va fi mai scăzută ceea ce confirmă justetea alegerii soluției practice de reducere a concentratorilor de tensiune prin canale de flexibilizare prelucrate pe suprafața frontală a butucului în imediata apropiere a suprafeței de contact.

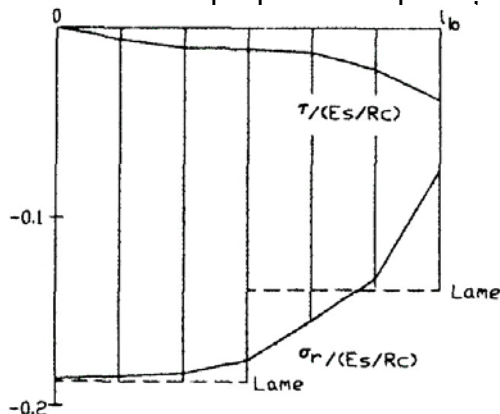


Fig.2.74 Variația tensiuni σ_r și τ pe lungimea suprafeței de contact

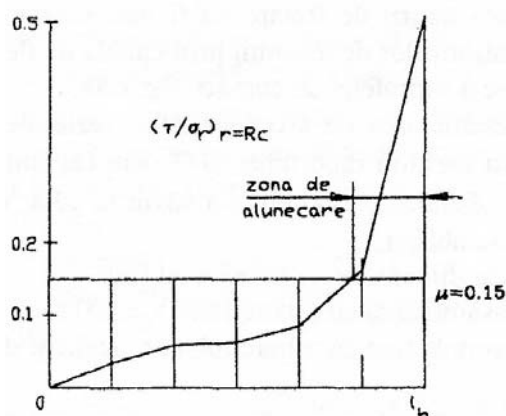


Fig.2.75 Variația raportului τ/σ_r în lungul asamblării

În concluzie, la fel ca și în cazul discontinuității formei circulare a butucului, apar atât concentrări ale tensiunilor în miez cât și în zone cu risc crescut de alunecare în vecinătatea secțiunilor cu salt dimensional ceea ce conduce și aici la necesitatea de a prevedea zone de racordare pentru a reduce aceste inconveniente.

Pe de altă parte însă, zona cilindrică mai subțire de la capătul butucului, are efect favorabil, reducând riscul apariției alunecării locale la muchia de intrare.

În concluzie, în cazul asamblărilor presate solicitate la încovoiere, este indicată utilizarea concomitentă a canalelor de reducere a concentratorilor de tensiune de la capăt, cât și a soluției constructive cu arbore tubular pentru reducerea riscului apariției uzurii de fretare la capete.

2.2.6. Influența accelerației unghiulare asupra asamblării presate

În cazul existenței unor accelerații unghiulare (regim de accelerare rapidă sau frânare violentă) pe suprafața de contact dintre arbore și elice pot apare tensiuni de forfecare superficiale mari care să conducă la depășirea condițiilor de nealunecare ale asamblării.

S-a considerat că butucul și arborele sunt supuse legăturii cu frecare care împiedică alunecarea, astfel că în orice secțiune, la nivelul suprafeței de contact deplasările axiale ale celor două piese sunt egale. Pentru a nu se produce alunecarea butucului, la accelerare trebuie ca: $\tau_c \leq \mu p_c$ unde p_c este presiunea de contact rezultată din strângerea afectată de dilatarea sub efect centrifugal $p_c(\omega)$.

Se poate deduce că presiunea minimă de contact trebuie să fie:

$$p_{\min} \geq \frac{\varepsilon \gamma}{4 \mu g} R_c^2 (1 - 1/\delta_b^4) \quad (111)$$

Rezolvarea numerică a fost făcută pentru arbore plin având legături cu frecare cu butucul, rapoartele dimensionale sunt aceleași ca cele considerate anterior. Programele utilizate în limbaj PASCAL pentru calcul prin diferențe finite au condus la tensiunile indicate în figurile 2.76, 2.77, 2.78 și 2.79.

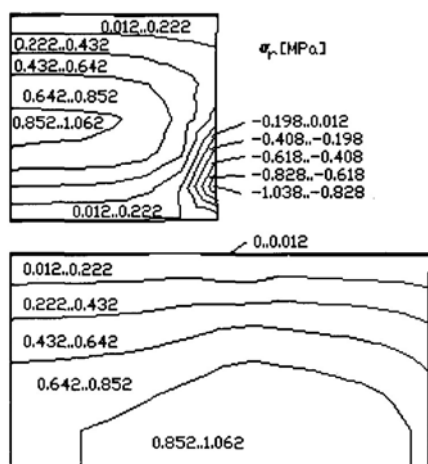


Fig.2.76 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens radial

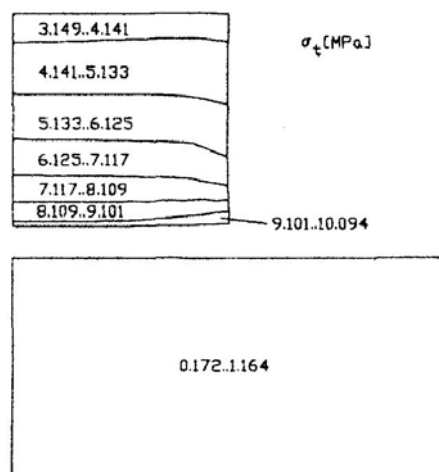


Fig.2.77 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens tangențial

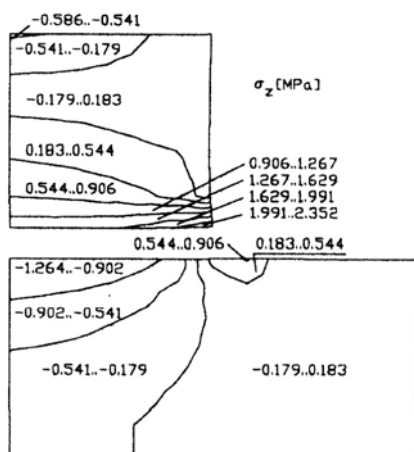


Fig.2.78 Curbele de nivel constant ale tensiunilor normale în sens axial

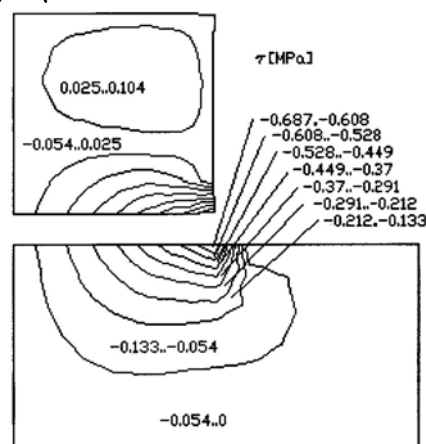


Fig.2.79 Curbele de nivel constant ale tensiunilor tangențiale

Considerarea legăturii cu frecare a condus la tensiuni, deformații și variație a strângerii diferite de cele întâlnite în literatura de specialitate pentru cazul discurilor în mișcare de rotație.

Se constată: concentrări de tensiuni radiale și axiale în apropierea muchiei de intrare a butucului și concentrări de tensiuni de forfecare superficiale cu influențe care favorizează apariția alunecărilor la capete și deci a uzurii de fretare la variația turației.

2.2.7. Influența câmpului termic tranzitoriu

Prin apariția unui câmp de temperatură neuniform în materialul asamblării presate, în cadrul proceselor de transfer de căldură în regim de tranziție de la o stare de echilibru la alta, apar deformații neuniforme care induc efecte mecanice uneori importante și care se suprapun peste cele datorate încărcărilor mecanice exterioare.

Influența câmpului termic tranzitoriu este mare în cazul cilindrilor de laminor cu tăblie presată și mai puțin importantă în cazul montajului elicei, deoarece diferența de temperaturi din timpul montajului (t_0) și din exploatare (t) nu este mai mare de 20°C.

Pieseile asamblate funcționează la aceeași temperatură în apa de mare și în acest caz corecția termică a strângerii va fi:

$$\Delta S_t = d(t - t_0)(\alpha_b - \alpha_a) \quad (112)$$

unde: α_a și α_b – coeficienții de dilatare termică a materialelor arborelui și a butucului.

2.2.8. Calculul strângerii la montajul elicelor navale

La proiectarea asamblării elicei navale, pentru calculul corect al strângerii care trebuie să existe între butucul elicei și arbore la sfârșitul asamblării trebuie să se țină seama de toate influențele enumerate anterior.

Notând cu p_n presiunea teoretic necesară unei asamblări ideale pentru a transmite solicitările exterioare (momente de răsucire, forțe axiale) acestea îi corespunde o strângere teoretică necesară S_n . Când există și încărcări suplimentare (de încovoiere, forțe centrifuge, accelerații unghiulare), care modifică distribuția de presiuni pe suprafața de contact, strângerea teoretică se corectează cu ΔS_i , ΔS_c , ΔS_a . La aceste corecții trebuie adăugate corecțiile: ce țin seama de erorile de la conicitate a pieselor asamblate Δd_K , datorate diferențelor de temperatură ΔS_t , datorate distrugerii parțiale a rugozității pieselor în contact Δd_g , datorită abaterilor de la circularitate, de la rectilinitate a generatoarelor ș.a.

2.2.9. Concluzii asupra influențelor introduse de solicitări și forme complexe

La **montarea elicei**, datorită asamblării cu strângere dintre elice și arbore apar o serie de tensiuni și deformații în structura pieselor asamblate, care se mențin tot timpul funcționării și peste care se suprapun și alte tensiuni datorate solicitărilor exterioare (răsucire, încovoiere, forțe axiale) ale elicei sau a remedierii ei prin sudare. Suma tuturor acestor tensiuni trebuie să se mențină în domeniul de elasticitate a materialului din care este confecționată elicea.

În timpul montajului cu strângere, datorită formei exterioare a butucului elicei și a lungimii ei diferită față de cea a arborelui, apar în elice tensiuni ce nu respectă distribuția preconizată de Lamé. Pentru studiul nostru importante sunt tensiunile și deformațiile ce apar la suprafața exterioară a elicei.

În urma analizei efectuate în acest capitol, putem concluziona că:

- în urma strângerii, presiunea nu este uniform distribuită pe suprafața de contact dintre ea și arbore, atât datorită erorilor de prelucrare cât și datorită influenței capetelor butucului, care fac ca presiunea pe capete să crească mult (de cca. 1,6 ori), chiar dacă erorile de prelucrare se mențin în domeniul admisibil. Pentru diminuarea lor se practică soluțiile recomandate în figurile 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 și tabelul 2 (de preferință cazurile 3 și 4) care pot conduce la o scădere a concentratorilor de tensiune de până la 1,4 ori;
- creșterea presiunii în asamblare este mai accentuată la partea în care arborele depășește butucul elicei;
- deformația arborelui se continuă și în zona liberă, în afara asamblării, la o distanță de cca. 0,5.d (unde d – diametrul arborelui) de capătul butucului, când butucul nu are descărcări pe capete. Această deformație se datorește existenței tensiunilor normale σ_r și σ_t , tensiuni ce influențează ruperea arborelui prin oboseală. Deformația arborelui și a butucului se continuă și în zonele ce nu participă la asamblare, pe o porțiune de cca. 30% din lungimea asamblării;
- la butucii cu generatoare liniară, se constată că toate tensiunile cresc foarte mult în zona de capăt a asamblării, mai ales în apropierea suprafeței de contact (Fig.2.59,

2.60, 2.61 și 2.62), de aceea sunt necesare prelucrările de descărcare și elasticizare a capetelor;

- la butucii cu periferie frontală variabilă liniar, tensiunea echivalentă (σ_{ech}) este mare la suprafața butucului în zona mai groasă a lui (Fig.2.43);
- la butucii cu periferie frontală variind în trepte, cazul elicelor navale, datorită existenței palelor, tensiunea echivalentă la exteriorul butucului (Fig.2.54) este mai mare în zona de trecere de la un diametru la altul, de asemeni tensiunile tangențiale τ au valori crescute de cca. 10 ori în această zonă (Fig.2.53). Aceasta impune ca la proiectare să se prevadă racordări suficient de mari pentru a reduce aceste concentrări;
- erorile de prelucrare a suprafeței conice de contact influențează decisiv distribuția de presiuni pe această suprafață, deci și tensiunile ce apar atât pe suprafața de contact cât și la exteriorul butucului. Distribuția de presiuni este mai avantajoasă, în cazul contactului inferior, deoarece se reduce concentratorul de tensiuni de la baza mare a asamblării;
- cu creșterea abaterii unghiulare, scade liniar și momentul de răsucire ce se poate transmite, deci prelucrarea foarte precisă a conurilor este deosebit de importantă;
- la butucii cu periferie longitudinală variind în trepte se constată o creștere a tensiunii de compresiune σ_r (Fig.2.70) la saltul de diametru și de asemeni a tensiunilor de compresiune axiale σ_z (Fig.2.72), ceea ce conduce la recomandarea de a prevedea racordări mari și de a nu indica sudura în aceste zone.

În timpul funcționării asupra elicei vor acționa: momentul de răsucire transmis de motor, forțe axiale de propulsie, momente încovoietoare asupra palelor datorate încărcării lor cu presiunea apei, forțe centrifuge - în timpul funcționării cu o viteză unghiulară constantă și forțe dinamice - datorate variației vitezei unghiulare la pornire și frânare. Recondiționarea elicei prin sudură nu se efectuează în timpul funcționării, dar aceste încărcări trebuie cunoscute pentru a se putea calcula tensiunile ce apar în structura elicei și a verifica dacă zonele recondiționate vor rezista acestor solicitări.

Analizând influențele introduse de variația vitezei unghiulare a elicei se constată că:

- accelerațiile unghiulare care apar la frânarea violentă sau la accelerarea rapidă, conduc la tensiuni radiale σ_r (Fig.2.76) și axiale σ_z (Fig.2.78) în apropierea muchiei de intrare a butucului, mari, care favorizează apariția alunecărilor la capetele butucului și deci a uzurii de fretare la variația turației;
- forțele centrifuge care apar în timpul funcționării, micșorează strângerea și deci reduc tensiunile normale σ_r , σ_t și σ_z ;
- presiunea creiată pe palele elicei, va conduce la solicitare de încovoiere la baza palei, solicitare care suprapusă peste tensiunile remanente de la montajul elicei va întări recomandarea de a se evita sudura la baza palei.

2.3. Echipamente și parametri optimi de montaj

2.3.1. Echipamente de montaj

De-a lungul timpului, pe măsura extinderii aplicațiilor practice, a fost elaborată o gamă largă de soluții de montaj a asamblărilor prin strângere, în funcție de mărimea pieselor asamblate și a strângerii impuse.

Pentru asamblările de dimensiuni mici poate fi suficientă strângerea cu o piuliță, încălzirea piesei care se montează în baie de ulei sau pe un con încălzit cu rezistență electrică.

Pentru asamblările de dimensiuni mari, cum este și cazul elicei navale, aceste procedee nu mai pot fi recomandate, de aceea pentru montaj se va utiliza procedeul hidrostatic care a fost descris la capitolul 2.1.

2.3.1.1. Presa axială

La montarea directă a butucului pe arbore, după ce cele două corpuri au fost așezate în contact pe suprafața conică, trebuie să se acționeze cu o forță axială inițială F_{ai} , până la preluarea abaterilor de la conicitate ale celor două suprafețe, pentru a se putea începe introducerea uleiului de dilatare a butucului. Odată cu introducerea uleiului de dilatare se continuă împingerea cu o forță axială F_a a butucului sau a arborelui până ce în asamblare se obține strângerea necesară.

Pentru realizarea acestor forțe axiale este necesară o presă axială hidraulică cu piston inelar, astfel ca forța pe care o dezvoltă să fie cât mai mare la dimensiuni minime de gabarit. Această presă poate fi montată:

- pe capătul filetat al arborelui, dacă acesta există, ca în cazul montării elicelor pe arborele port-elice (Fig.2.80);
- prin fixare de arbore prin intermediul unui prezon, ca în cazul montării pe arbore a unor roți, volanți sau cuplaje;
- într-un cadru închis, în cazul când în arbore nu se pot fixa șuruburi sau nu prezintă capăt filetat. În acest caz, elementele care se assemblează împreună cu presa vor fi așezate într-un cadru, astfel ca arborele să se sprijine pe o latură a cadrului iar corpul presei pe latura opusă. Pistonul inelar al presei axiale va acționa direct sau prin intermediul unor inele distanțiere asupra butucului. Acest mod de montare a presei axiale se utilizează la montarea tăbliei cilindrilor de laminor.

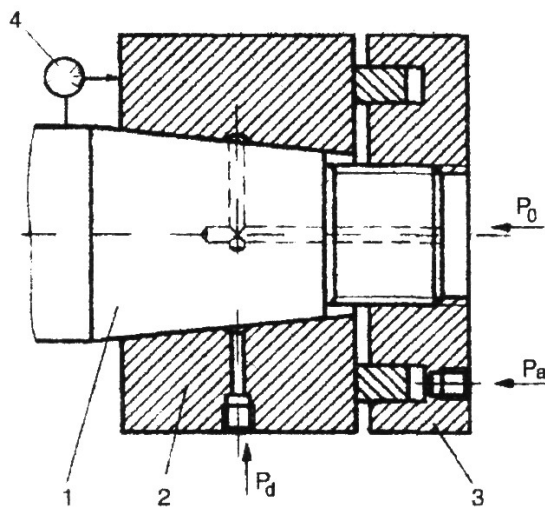


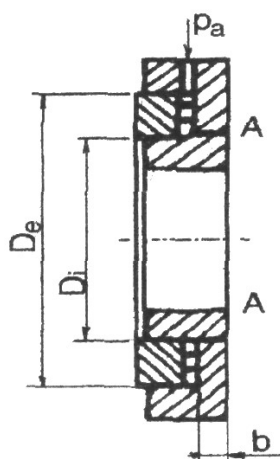
Fig.2.80 Montarea presei axiale pentru asamblarea elicei:

1- arborele port-elice; 2- butucul elicei; 3- presa de împingere axială; 4- comparator pentru măsurarea avansului axial, a.

Pentru calculul presei (fig.2.81), cunoscând valoarea forței axiale maxime necesare F_{af} precum și diametrele interior D_i și exterior D_e ale pistonului inelar, se determină presiunea de alimentare necesară cu relația:

$$p_a = 4 F_{af} / (D_e^2 - D_i^2) \quad (113)$$

Corpul presei se verifică la solicitarea compusă de încovoiere cu forfecare în secțiunea circulară A-A:



$$\sigma_i = \frac{M_i}{W_z} = \frac{3F_{af}(D_e - D_i)}{2\pi D_i b^2}$$

$$\tau = F_a / (\pi D_i b)$$

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_i^2 + 3\tau^2} \quad (114)$$

Fig.2.81 Presa axială

2.3.1.2. Pompa manuală de înaltă presiune

Presiunea uleiului care ajunge pe suprafața de contact a arborelui cu elicea, necesar montării și demontării trebuie să fie ceva mai mare decât presiunea din asamblare, care poate să ajungă la rândul ei până la limita de proporționalitate a materialului mai puțin rezistent. În majoritatea cazurilor, presiunea uleiului de dilatare este cuprinsă între (80...140) N/mm², iar la asamblările cu strângere mare poate ajunge la 250 N/mm².

Pentru creerea presiunii de montare, se pot utiliza pompe acționate manual sau mecanic. Pompele manuale sunt recomandate la asamblări mici, deoarece ele au debit mic iar pentru asamblările mari ar fi necesar un timp prea mare de montaj sau ar fi imposibilă montarea din cauza debitului insuficient și a pierderilor de ulei la capătul asamblării, datorită impreciziei de prelucrare.

Pompele manuale proiectate și realizate la Universitatea Dunărea de Jos din Galați (fig.2.82) au fost utilizate cu bune rezultate în cazul asamblării unor suprafețe cu dimensiuni sub 200 mm și ale căror abateri la diametru nu depășesc 0,01 mm.

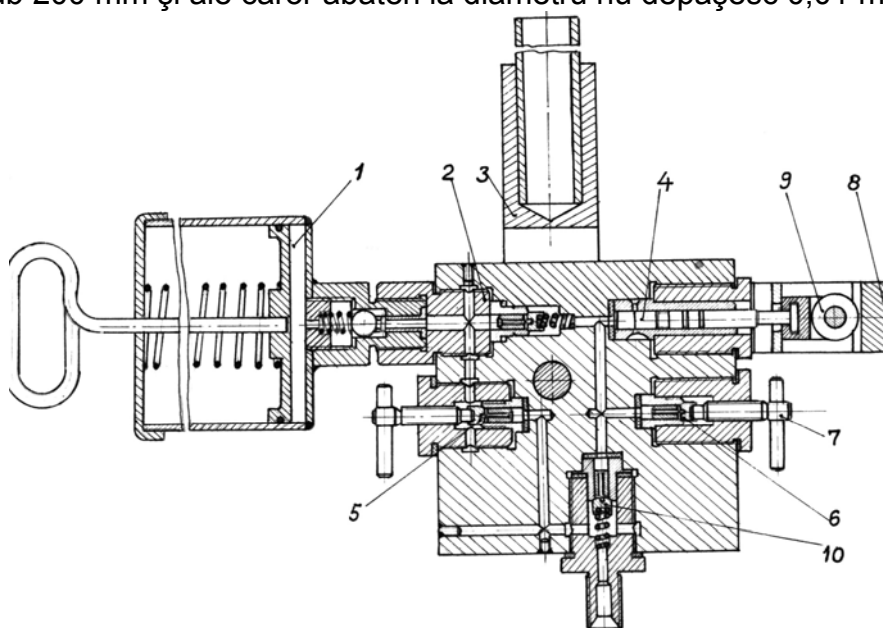


Fig.2.82 Pompa manuală de înaltă presiune.

Pompele proiectate au la bază același principiu de acționare ca și cele întâlnite în literatura de specialitate: sunt pompe cu piston, care însă folosesc în locul supapelor cu

bilă, supape de sens unic conice, tipizate și în locul pistonului un element schimbabil de pompă de injecție. Alimentarea cu ulei se face din rezervorul detașabil cu piston 1. Uleiul este apoi filtrat de filtrul 2, prevăzut în corpul pompei. După ce se umple cu ulei și se înșurubează rezervorul 1 la pompă, se acționează maneta 3 care deplasează pistonul 4, prin intermediul jugului 8 și a tachetului 9. Pistonul 4, la cursa de retragere, absoarbe uleiul din rezervorul 1 și îl refulează prin supapa 10 spre utilizare. Supapa 5 este prevăzută pentru reântorcerea uleiului în rezervor, iar supapa 6 și șurubul de reglaj 7, pentru eliminarea aerului din instalație în timpul amorsării pompei.

2.3.1.3. Instalația hidraulică de înaltă presiune

Literatura de specialitate nu tratează problema folosirii pentru montaj a pompelor acționate mecanic. Pentru asamblări mari, se recomandă doar folosirea a două pompe manuale, care însă, în cazul unor erori de prelucrare a suprafețelor sau în cazul montării unor corpuri de mari dimensiuni, devin complet ineficiente. De aceea, autorul prezentei lucrări a realizat și utilizat cu foarte bune rezultate, în cazul asamblărilor de mari dimensiuni, o instalație originală a cărei schemă de funcționare este prezentată în figura 2.83.

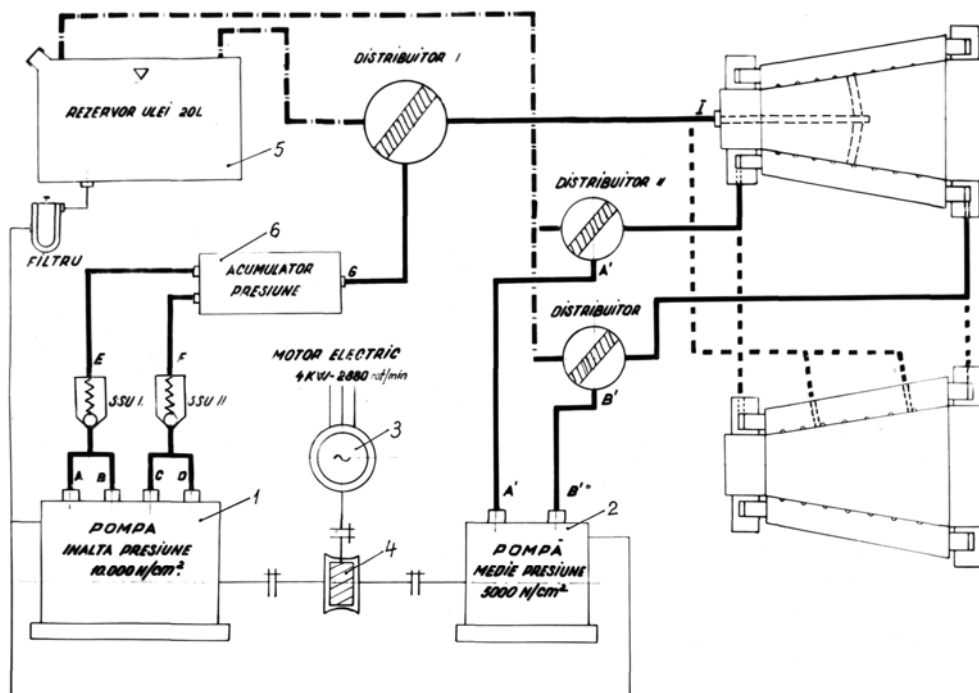


Fig.2.83 Schema instalației hidraulice.

Instalația are avantajul că este ușor transportabilă (Fig.2.84) și realizează cu ajutorul a două pompe de injecție cele două presiuni diferite necesare dilatării butucului și împingerii axiale. Cele două pompe: una de înaltă presiune 1 (100N/mm^2) și alta de medie presiune 2 (50N/mm^2), sunt antrenate de un motor electric 3 și un reductor cu melc-roată melcată 4 și sunt alimentate de la rezervorul de ulei 5. Pentru menținerea constantă a presiunii uleiului în timpul montajului, pompa 1 este racordată la un acumulator de presiune 6 de unde uleiul este trimis pe suprafața de contact a elementelor asamblate, prin conducte metalice, la orificiile practice în butuc sau în arbore. După efectuarea montajului, uleiul din asamblare este trimis înapoi în rezervorul de ulei utilizând distribuitorul I iar pentru a scoate uleiul din presa axială, se utilizează distribuitorul II.

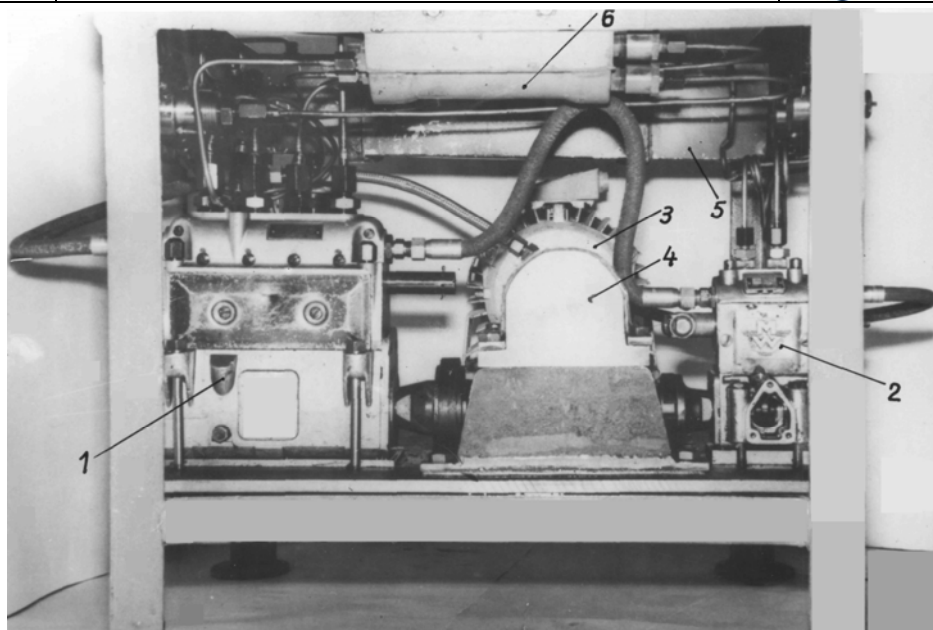


Fig.2.84 Instalația hidraulică:

1- pompa de înaltă presiune; 2- pompa de medie presiune; 3- motor electric; 4- reductor de turație; 5- rezervor de ulei; 6- acumulator.

2.3.2. Parametrii optimi de montaj

În cazul asamblărilor cu strângere directă realizate hidrostatic, pentru a se obține forțe axiale de împingere cât mai reduse, este necesară micșorarea coeficientului de frecare între suprafețele în contact în timpul montajului. De fapt, diferitele zone ale suprafeței de contact se comportă diferit din punct de vedere al frecării, datorită imperfecțiunii prelucrării celor două conuri și al contactului permanent la capetele asamblării în timpul montajului. Deci, vor exista simultan toate cele patru regimuri de frecare: uscată, la limită, semifluidă și fluidă. Media acestor situații la un moment dat va conduce la un coeficient de frecare aparent în asamblare μ_a care în cazul ideal are valoarea coeficientului de frecare obținut în regim fluid (film continuu de lubrifiant).

Pentru realizarea unui regim fluid de ungere a suprafețelor trebuie ca α , coeficientul de toleranță a strângerii, să aibă valori foarte mici, deoarece aceasta conduce la o dispoziție aproximativ constantă a presiunilor de contact, deci condiții mai bune de autoetanșare a asamblării. Pentru valori mari ale lui α , există tendința uleiului de a scăpa printr-un capăt al asamblării, iar pentru a realiza presiunea de dilatare necesară este nevoie de debite mari de ulei.

În general, regimul de frecare fluid se realizează pentru grosimi ale peliculei de ulei $h_{u\min} \geq 10 \mu\text{m}$. Ținând cont de abaterea de la conicitate Δd_k , ca și de rugozitatea suprafețelor de contact, rezultă că, grosimea peliculei de lubrifiant necesară va fi:

$$h_u \geq h_{u\min} + \frac{\Delta d_k}{2} + (R_{za} + R_{zb}) \quad (115)$$

La montaj, uleiul trebuie să învingă presiunea de contact dintre suprafețe p_c și să prezinte un surplus Δp_u care să asigure o peliculă de grosime h_u : $p_0 = p_c + \Delta p_u$ (116)

unde
$$\Delta p_u = \frac{h_u}{dB}$$

În diagrama din figura 2.85 este descrisă evoluția parametrilor de montaj, în cazul respectării condițiilor pentru un montaj optim.

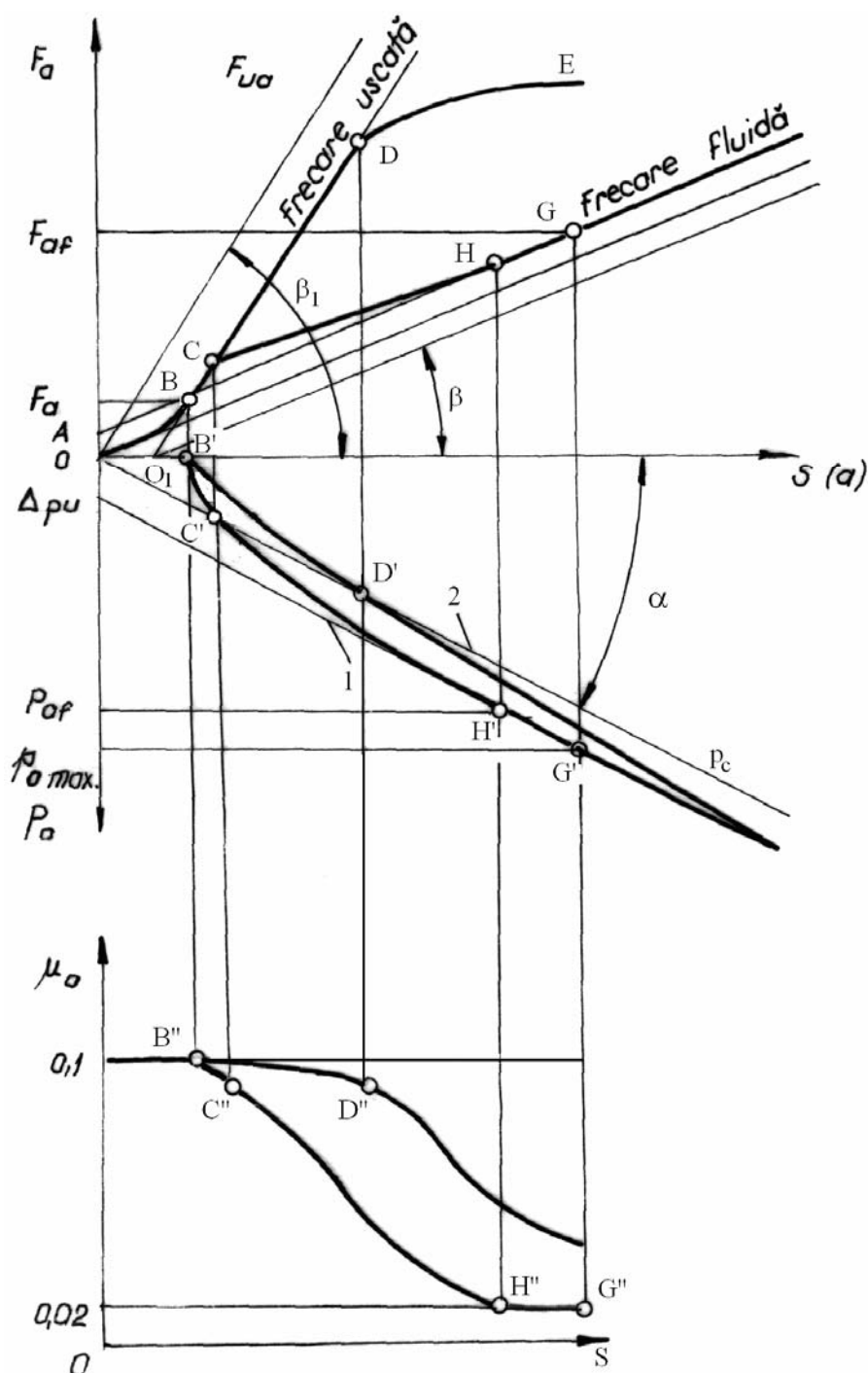


Fig.2.85 Interdependența dintre forța axială, presiunea de dilatare și strângerea din asamblare.

Dreptele F_{ua} și F_{fa} reprezintă caracteristicile unui montaj ideal (în absența abaterilor de la conicitate și a rugozității), pentru cazul montajului uscat și respectiv fluid. Dreapta p_c reprezintă variația presiunii de contact cu strângerea s (avansul axial a), de asemenea în cazul ideal. Porțiunea de curbă OB reprezintă variația parabolică a forței axiale de montaj la intrarea progresivă în contact, la frecarea uscată; porțiunea BD reprezintă variația forței axiale de montaj la frecarea uscată; porțiunile CH și DE indică variația forței axiale de montaj la frecarea semifluidă; porțiunea HG indică variația forței axiale de montaj la frecarea fluidă.

În realitate însă, pentru a se realiza regimul de frecare fluid, trebuie atinsă o caracteristică de presiune paralelă cu p_c și situată la distanța Δp_u . În practică, aceasta nu este posibil decât după realizarea autoetanșării ansamblului, deci după ce cele două suprafețe au fost puse în contact pe toată lungimea de către o forță F_{ai} (punctul B). Dacă s-ar continua să se efectueze montajul uscat al celor două suprafețe, caracteristica forță axială- avans ar urma o variație liniară cu panta:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{S_c}{KdB} \left(\frac{1}{2K} + \mu_u \right) \quad (117)$$

Sunt posibile două situații:

1. Curbele 1 prezintă cazul când presiunea p atinge repede regimul prescris, datorită unei prelucrări foarte fine a suprafețelor, sau a unui debit suficient de mare al pompei de dilatare. Din acest moment începe crearea peliculei de ulei între suprafețe, când presiunea de dilatare p_0 depășește valoarea presiunii de contact p_c , proces corespunzător zonei CH de variație a forței axiale de montaj. În punctul H, presiunea de dilatare p_{of} atinge valoarea asigurării peliculei de ulei necesară frecării fluide, iar forța axială de montaj este optimă. Cu condiția menținerii presiunii p_0 pe dreapta prescrisă, forța axială de montaj descrie dreapta HG. Creșterea presiunii p_0 peste caracteristica optimă nu este recomandată deoarece coeficientul μ_{fa} nu mai poate să scadă, crește în schimb componenta de respingere a butucului datorită conicității;
2. Curbele 2 prezintă cazul când, din diverse motive (execuție necorespunzătoare, debit mic al pompelor), presiunea de dilatare p_0 nu poate atinge caracteristica prescrisă. În acest caz, forțele de montaj sunt mult superioare, de abia în punctul D, corespunzător punctului D' de pe diagrama de variație a presiunii de dilatare, realizându-se un regim de frecare semifluidă.

De aici decurge necesitatea urmăririi cât mai riguroase, în timpul montajului, a parametrilor prescriși, atât pentru a asigura un montaj cu forțe reduse, cât și pentru a elimina pe cât posibil distrugerea rugozităților de pe suprafețele în contact, distrugere ce are loc la o frecare uscată.

În aceste condiții, coeficientul de frecare aparent μ_a scade după una din curbele B''C''H'' sau B''D''G''.

Diagrama prezentată evidențiază excelent exigențele tehnologiei de montaj asupra celei de execuție.

Într-adevăr, realizarea unei forțe minime depinde de formarea cât mai rapidă și compactă a peliculei de ulei sub presiune, ceea ce implică pe de o parte, execuția cât mai precisă, atât sub aspect dimensional cât și al gradului de asperitate a suprafețelor în contact cât și, pe de altă parte, corecta alegere a pompei de dilatare și respectarea corelației dintre presiunea ei și cea a pompei de împingere, corelație care trebuie să evite apariția unei forțe de montaj care să producă expulzarea peliculei și reintrarea în regim de frecare uscată.

O concluzie care se desprinde din analiza diagramei este aceea că, datorită existenței unui capăt mai deschis al asamblării, pelicula de ulei nu are condiții de formare până la atingerea punctului B, pe intervalul 0 – B frecarea decurgând pe uscat.

Montajul hidrostatic în cazul elicei s-a realizat cu ulei H30 la care coeficientul de frecare aparent în regim semifluid a fost cuprins între 0,02 și 0,12 iar în regim fluid s-a realizat $\mu_f = 0,02$.

2.4. Instalații de testare a asamblării

2.4.1. Stand pentru montarea și probarea elicelor navale

Pentru încercarea elicelor navale montate hidrostatic, la întreaga lor capacitate portantă și omologarea procedurii de către Registrul Naval Român, s-a proiectat și realizat un stand de probă (Fig.2.86) pe care elicea poate fi montată hidrostatic și apoi probată la momentul de răsucire maxim prin aplicarea a două forțe diametrale F situate la distanța b (Fig.2.87), forțe realizate de doi cilindri hidraulici.

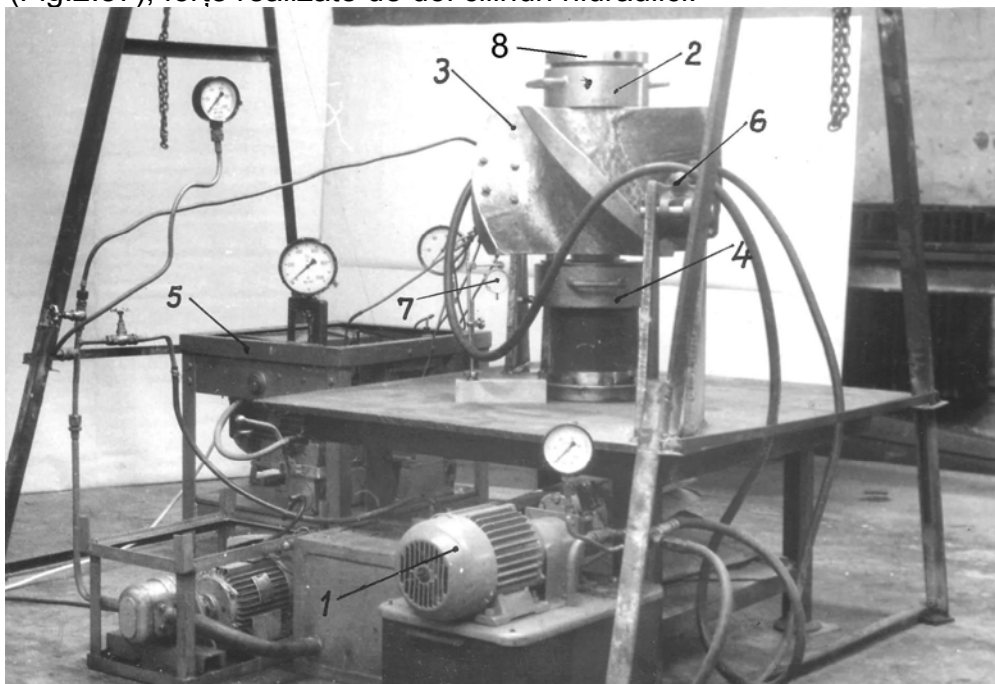


Fig.2.86. Stand de probă și montaj pentru elici navale

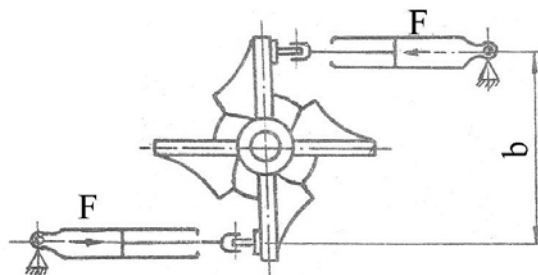


Fig.2.87. Solicitarea elicei la răsucire

Instalația de montaj și probe (Fig.2.86) se compune din:

- 1- grup de pompare de joasă presiune pentru acționarea cilindrilor hidraulici, poziția 6;
- 2- presă inelară axială pentru montarea elicei;
- 3- elice;
- 4- presă inelară axială pentru demontare;
- 5- grup de pompe de înaltă și medie presiune pentru montajul hidrostatic;
- 6- cilindru hidraulic de forță pentru realizarea cuplului ce simulează momentul de torsiune a motorului principal;
- 7- comparator cu cadran pentru măsurarea deplasării axiale a butucului elicei pe arbore;
- 8- piuliță suport pentru presa inelară de montare;
- 9- arbore port-elice;

10-banc de probe.

Se menționează că presa inelară axială (poziția 4) nu se folosește ca atare. Ea a fost construită și montată pe poziție pentru a fi folosită într-o situație extremă, de exemplu în cazul când elicea s-ar gripa pe arbore.

Înainte de montarea elicei pe arbore, se verifică etanșeitățile naturale a ajustajului conic și a celor două prese inelare axiale. Înainte de montaj, elicea și arborele se ung cu o peliculă de ulei pe suprafețele conice care formează ajustajul. Se introduce elicea (3) și presa (2) pe arbore și se înșurubează piulița suport (8). Se racordează presa (2) la pompa de joasă presiune (1) și se acționează asupra elicei cu forța axială inițială F_{ai} , care să asigure contactul celor două suprafețe pe toată lungimea conului.

În acest timp se măsoară avansul elicei pe arbore, prin intermediul comparatorului cu cadran (7), până ce se realizează avansul axial inițial a_i , care asigură contactul pe toată lungimea conului.

Se racordează apoi pompa de joasă presiune (1) la elice și se trimite ulei în ajustajul conic până la presiunea de 40 bari. Se urmărește să fie asigurată etanșeitățile ajustajului conic prin controlul capetelor asamblării care trebuie să rămână uscate.

În cadrul probelor experimentale, pompa de joasă presiune (1) se va folosi la premontarea elicei pe arbore, în vederea păsurii celor două suprafețe conice, operație ce trebuie efectuată înaintea oricărui montaj, precum și la umplerea presei (2) cu ulei.

După operația de verificare a etanșării și de păsuire a celor două suprafețe, se întrerupe alimentarea presei axiale (2) și se racordează butucul elicei la pompa de înaltă presiune (5), componenta axială a presiunii uleiului dintre suprafețele conice va depresa elicea de la sine. Șocul desprinderii va fi atenuat de presa inelară (2). În acest moment cele două repere sunt pregătite pentru montajul definitiv.

Pentru aceasta, se repetă împingerea elicei pe arbore cu F_{ai} , realizată de presa axială (2), pe distanța a_i . Din acest moment începe montajul propriu-zis: elicea racordată la pompa de înaltă presiune (5) și presa axială racordată la pompa de medie presiune vor primi presiunea de ulei necesară unui montaj optim, corelarea celor două presiuni va urmări crearea unui regim de frecare fluid între cele două suprafețe. O creștere peste valoarea optimă a presiunii de dilatare p_0 va face ca la capetele asamblării să se prelingă ulei iar o creștere a forței axiale F_a peste cea optimă corelată cu avansul a al elicei pe arbore, urmărit de comparatorul (7), va conduce la distrugerea rugozității suprafețelor și la neasigurarea frecării fluide.

La terminarea avansării elicei pe arbore, când a fost realizată strângerea necesară, se oprește acționarea pompei de înaltă presiune (5) și se eliberează de sub presiune butucul elicei. În acest timp, presa (2) se menține sub presiune timp de 10...15 minute, pentru ca elicea să-și revină din deformația elastică suferită, să strângă arborele și să se elimine astfel uleiul de pe suprafața de contact. În acest moment asamblarea este realizată: se eliberează de sub presiune presa (2), se deșurubează piulița suport (8), se scoate presa (2) de pe arbore, se înșurubează piulița suport (8) cu flanșa spre elice și la o distanță de cca. 10 mm de aceasta.

Pentru verificarea ansamblului la capacitatea portantă: se fixează cei doi cilindri hidraulici (6) la două pale de elice dispuse diametral, se așează suportul comparatorului cu cadran pe flanșa piuliței suport (8), solidară cu arborele (9), iar tija palpatorului se fixează pe pala elicei, perpendicular pe un plan ce conține axa arborelui port-elice; se pornește pompa de joasă presiune (1) care alimentează cilindri hidraulici (6), creindu-se astfel cuplul de forțe ce simulează momentul de torsiune al motorului principal. La experimentările efectuate, s-a mărit presiunea în cilindri până când s-a realizat un moment de torsiune de trei ori mai mare decât cel al motorului și s-a urmărit acul comparatorului

care a rămas în aceeași poziție, aceasta dovedind că nu au existat alunecări între suprafețe.

Transmiterea acestui moment este posibilă, întrucât coeficientul de frecare între suprafețe este mult mai mare decât cel considerat ($\mu_u = 0,125$), deoarece pe suprafața de contact există canale de distribuție a uleiului în care, datorită strângerii, pătrunde materialul piesei conjugate. Dacă timp de 20 minute nu s-a constatat nici o alunecare se consideră că asamblarea a fost corect realizată. Se eliberează de sub presiune cilindri hidraulici (6), se racordează elicea la pompa de înaltă presiune (5) în vederea demontării, se pompează ulei în ajustajul conic până ce elicea se desprinde cu un șoc ușor de arborele (9). Se așteaptă cca. 15 min. pentru revenirea elicei pe poziție de simplă așezare pe arbore și se verifică, la comparatorul așezat înainte de începerea demontării pe bancul de probe cu palpatorul încordat, această revenire. Se deșurubează piulița suport (8), se ridică elicea cu ajutorul unui palan și se scoate de pe arbore. Se observă suprafețele conice ale arborelui și ale butucului elicei și se constată starea lor, neconstatându-se modificări de rugozitate, formă sau gripare.

În acest fel, s-au efectuat cinci probe experimentale a căror rezultate sunt consemnate în tabelele 2.11 și 2.12.

Tabelul 2.11. Rezultate experimentale la montajul elicei.

Proba 1	Pres. în presa axială p_a [daN/cm ²]	12	40	50	60	70	95	110	125
	Pres. de dilatare a butucului p_0 [daN/cm ²]	0	200	250	300	350	400	450	500
	Avansul butucului pe arbore a [mm]	0,23	0,4	0,55	0,70	0,85	1,00	1,15	1,40
Proba 2	p_a	12	50	85	100	120	130	140	-
	p_0	0	300	400	450	500	550	600	-
	A	0,20	0,45	0,70	0,95	1,20	1,45	1,80	-
Proba 3	p_a	12	50	80	100	125	135	170	-
	p_0	0	300	400	450	500	550	700	-
	A	0,18	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	-
Proba 4	p_a	12	55	70	90	115	130	165	180
	p_0	0	300	350	400	500	600	700	800
	A	0,17	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,20
Proba 5	p_a	12	60	80	100	120	135	160	180
	p_0	0	300	350	400	500	600	700	900
	A	0,15	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00	2,50

Tabelul 2.12. Parametrii de montaj ai elicei.

Nr. probă	Pres. max. din presa axială p_{amax} [daN/cm ²]	Pres. de dilatare a butucului p_0 [daN/cm ²]	Avansul pe arbore a [mm]	Pres. din cil. Hidraulici pt. cuplu p_{cil} [daN/cm ²]	Pres. de dilatare a butucului la desprindere p_{des} [daN/cm ²]	Avans la rev. după demont. a_d [mm]
1	125	500	1,40	70	400	1,41
2	140	600	1,80	75	500	1,81
3	170	700	2,00	80	600	2,01
4	180	800	2,20	90	700	2,20
5	190	900	2,50	100	800	2,50

Rezultatele consemnate mai sus conduc la următoarele concluzii:

a) din tabelul 2.11:

- la aceeași presiune de premontare (12 bari), avansul axial inițial scade pe măsura creșterii numărului probei. Această scădere este relativă și se datorează păsurii celor două conuri și reducerii erorilor de prelucrare a conurilor în cele cinci montări succesive;
- cu creșterea numărului probei, la aceeași presiune axială de montare (de ex. 50 bari) corespunde aproximativ același avans axial al butucului ($a = 0,50\text{mm}$);
- variația parametrilor de montaj (presiune de dilatare p_0 și presiune în presa axială p_a) este liniară în raport cu strângerea creată între suprafețe cu avansul elicei pe arbore.

b) din tabelul 2.12:

- pentru diferite avansuri, valoarea tuturor presiunilor crește proporțional cu avansul pe care îl determină. Aceasta este firesc deoarece deformările au loc în domeniul elastic;
- presiunea de desprindere este în toate cazurile mai mică cu 100 bari decât presiunea de deformare (p_0) necesară la montaj. Aceasta se explică prin faptul că elicea nu mai este împinsă axial și imediat ce uleiul a îmbrăcat întregul ajustaj, datorită conicității, deci a componentei axiale a presiunii de dilatare, desprinderea se face instantaneu;
- avansul de revenire după demontare este egal cu avansul la montaj, cu o eroare de 1% la primele trei montaje, acest lucru demonstrând faptul că la toate cele cinci probe butucul elicei nu a căpătat deformații permanente.

2.4.2. Stand pentru studiul tensiunilor și deformațiilor asamblărilor presate

Pentru studierea capacității și a distribuției de tensiuni într-o asamblare presată a fost conceput un stand de dimensiuni reduse (Fig.2.88) față de standul prezentat anterior. Pentru a se verifica capacitatea portantă a asamblării, probele 2 pot fi supuse la un moment de răsucire creat de doi cilindri hidraulici 3, alimentați cu ulei sub presiune.

Axul probei 1 susținut în două lagăre, este fixat rigid în peretele standului. În vederea montării, uleiul de înaltă presiune furnizat de pompa manuală 4, este trimis prin arborele probei la suprafața de contact a asamblării.

În timpul montajului, împingerea axială a butucului se realizează cu presa hidraulică 5 racordată la o instalație de presiune medie.

Cu ajutorul acestui stand s-au stabilit: capacitatea portantă a asamblării, parametrii optimi de montaj, distribuția de tensiuni la suprafața butucului și a arborelui, coeficientul de

frecare la montare și demontare, distribuția de presiuni pe suprafața de contact a asamblării.

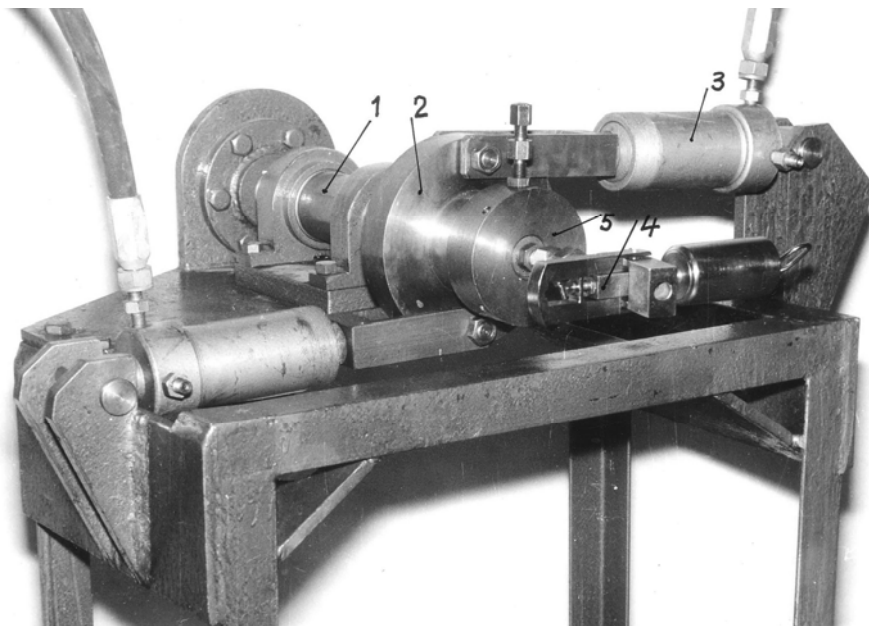


Fig.2.88. Stand de probă și montaj pentru asamblările hidrostatice.



Fig.2.89. Montarea mărcilor tensometrice pe butuc pentru stabilirea distribuției de tensiuni.

Tensiunile normale pe direcție tangențială la suprafața exterioară a butucului $\sigma_{\theta}(x)$ au fost determinate discret în lungul axei asamblării, cu mărci tensometrice plasate ca în figura 2.89.

Prin citirea tensiunilor normale pe direcție tangențială poate fi stabilită distribuția de presiuni la suprafața de contact cu relația:

$$p(x) = \sigma_{\theta(x)} \frac{R_e^2(x) - R_i^2(x)}{2R_i^2(x)} \quad (118)$$

2.4.3. Stand pentru studiul rezistenței la oboseală a asamblărilor presate.

Deoarece asamblarea presată între arbore și butuc conduce la scăderea rezistenței arborelui la solicitări variabile, este necesar a se cunoaște comportarea acestor asamblări la oboseală.

Pentru a studia comportarea la oboseală prin răsucire a asamblării presate și a stabili forme constructive ce pot duce la creșterea rezistenței lor, s-a proiectat și s-a realizat un stand ce supune probele la astfel de solicitări.

Acționarea standului, figura 2.90, se bazează, în principiu, pe un mecanism cu came ce poate produce solicitări pulsatorii de răsucire cu diferite amplitudini.

Standul se compune din: motorul electric 1 care acționează arborele cu excentrice 2, pe care sunt montate bușele excentrice 3 solidarizate cu arborele prin intermediul cuplajelor 4.

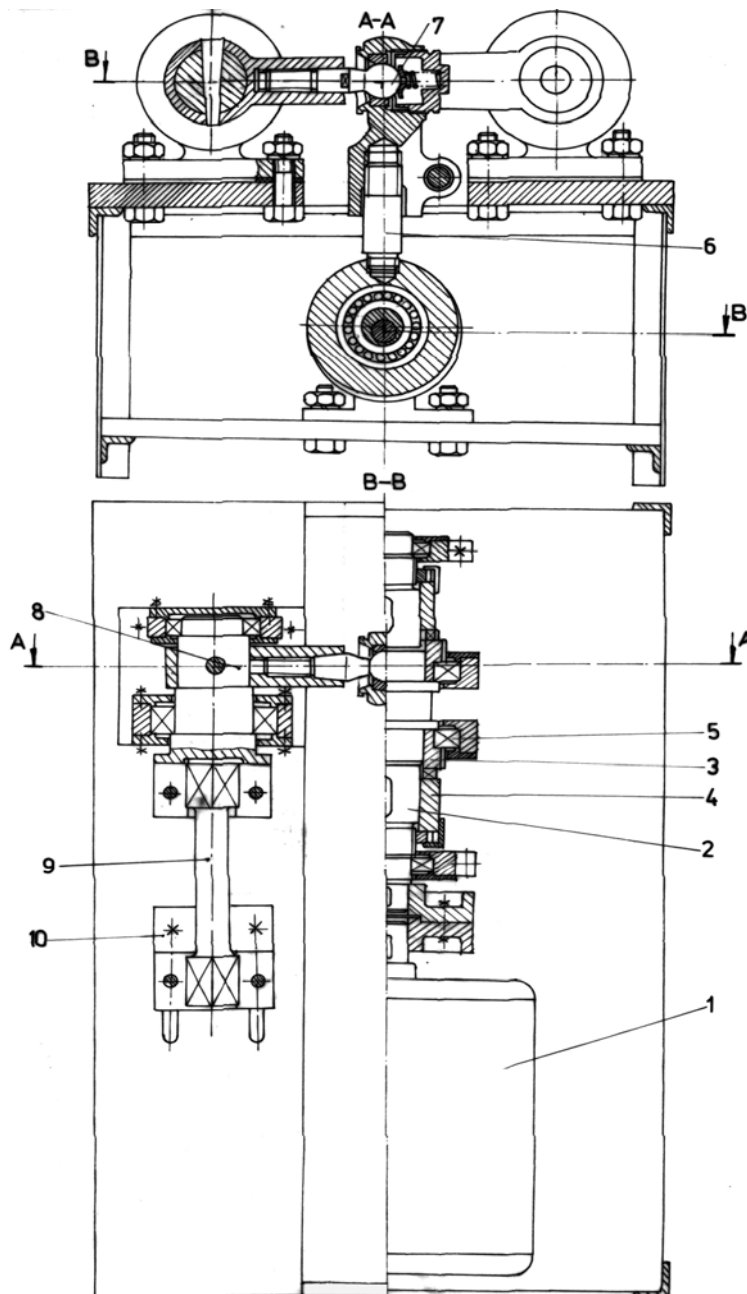


Fig.2.90 Stand pentru încercări la oboseală a asamblărilor presate.

Pe bușele excentrice sunt montați rulmenții 5, de a căror carcasă exterioară se fixează tijele de acționare 6, care transmit mișcarea prin intermediul articulațiilor sferice 7 la arborele condus 8, în care este fixat un capăt al probei 9. Celălalt capăt al probei este încastrat în peretele 10, fixat pe masa standului și care poate fi eventual deplasat, în funcție de lungimea probei.

Având în vedere necesitatea transmiterii unghiului de răsucire, la probă, fără erori, ea este fixată rigid și centrată în arborele condus. În acest fel, în timp ce arborele 2 se rotește, arborele condus 8, solidar cu proba, va primi o mișcare oscilantă, după cum a fost

fixată poziția relativă a celor două excentrice în momentul inițial. Excentricitatea la arborele conducător poate varia de la zero la 3 mm, putând obține diverse amplitudini pentru ciclul de solicitare. Standul este prevăzut cu două excentrice decalate cu 180° , ceea ce permite fixarea a două probe simultan și realizarea unui bun echilibraj dinamic.

Mașina este astfel calculată, ca să poată încerca epruvete din orice material până la 20 mm diametru cu lungimi cuprinse între 70 și 250 mm.

Momentul maxim de lucru în regim pulsator este de 940 Nm.

Standul este prevăzut cu numărător de cicluri racordat la arborele motor, La ruperea probei instalația se oprește automat, acționarea făcându-se de la blocul de comandă, a cărui schemă este redată în figura 2.91. Acționarea se bazează pe curentul electric absorbit de motor în timpul acționării. Pentru aceasta, în serie cu motorul electric se leagă un releu f, al cărui contact normal închis se înseriază cu bobina contactorului C de alimentare a motorului.

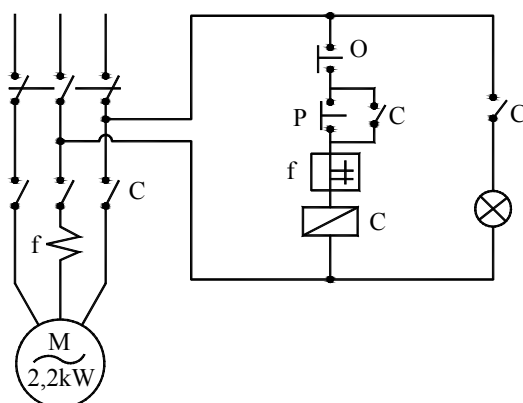


Fig.2.91 Schema blocului de comandă a standului de încercări la oboseală.

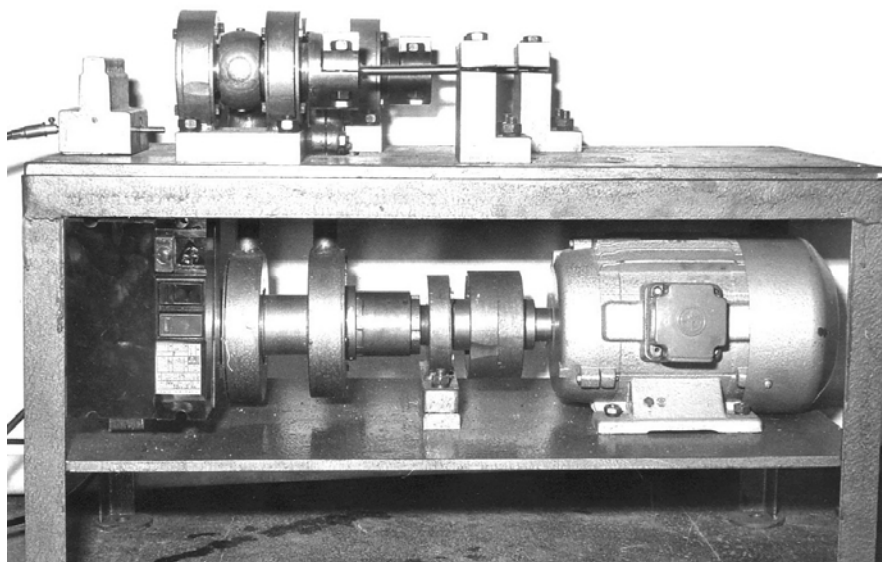


Fig.2.92 Stand de încercări la oboseală de răsucire.

În timpul funcționării, mașina fiind încărcată cu ambele epruvete, cuplul motor este maxim, deci și curentul absorbit de motorul electric este maxim. În momentul ruperii primei epruvete cuplul motor scade brusc, iar odată cu acesta scade și curentul absorbit de motor, releul f se eliberează decuplând contactul C, motorul nu mai fiind alimentat. Unul dintre contactele normal închise ale contactorului C, s-a folosit pentru o lampă de semnalizare care se aprinde în momentul ruperii epruvetei.

Același stand s-a utilizat și pentru urmărirea uzurii de fretare din asamblare, produsă de către solicitarea la răsucire pulsatorie a asamblării presate.

BIBLIOGRAFIE

1. Balațkii L.T.–*Procinost presovâh soedinenii*, Tehnika, Kiev 1982
2. Constantin V., Dragomir D. – *Asamblări presate. Calcul, proiectare, tehnologie*. Ed. EVRIKA Brăila, 1998.
3. Constantin V. – *Montaje hidrostatice – calitatea asamblării*, Ed. Fundației Univ. Dunărea de Jos, Galați, 2004.
4. Constantin E., Constantin V., Mihăilescu D., Iordăchescu D. – *Tehnologii subacvatice. Reparații, întreținere și inspecții subacvatice*. Ed. Tehnică București, 2000.
5. Constantin V., Dragomir D. – *About the friction connection of pressed fittings under transient thermal field*, Sheet Metal 2000, Univ. of Central England in Birmingham, p.395-404.
6. Constantin V., Dragomir D.–*Contributions on fretting wear study*, Rotrib 2003, Galați, p.278-283.
7. Constantin V., Dragomir D. – *Prelucrarea optimă a capetelor asamblărilor presate în vederea reducerii concentratorilor de tensiune*, TCMM 14, Ed. Tehnică București 1996, p.61-65.
8. Constantinescu J., Ștefănescu D., Sandu M.- *Măsurarea mărimilor mecanice cu ajutorul tensometriei*, Ed. Tehnică București, 1989.
9. Dragomir D.- *Influența legăturii cu frecare asupra stării de tensiuni în stratul superficial al asamblărilor presate în diverse condiții de funcționare*, TCMM 16, 1996, Ed. Tehnică București.
10. Larionescu D. – *Metode numerice*, Ed. Tehnică București, 1989.
11. Garbea D. – *Analiză cu elemente finite*, Ed. Tehnică București, 1990.
12. Duran D., Kubi M. – *A Generalised Solution for the Pressurized Elastoplastic Tube*, Transaction of ASME, nr.20, vol.59, 1992.
13. Frolov N., Tfas V.-*Teoriia țilindricheskogo soedinenia s natiagom krutiascim momentom*, IVUZ, Mașinostroenie, nr.9, 1973.
14. Fukui Y., Yamanaka N. – *Elastic Analysis for Thick-Walled Tubes of Functionally Graded Material Subjected to Internal Pressure*, JSME International Jurnal, Ser.I, vol.35, No4, 1992.
15. Gafițanu M., Poterașu V., Mihajache N. – *Elemente finite și de frontieră cu aplicații în calculul organelor de mașini*, Ed. Tehnică București, 1987.
16. Gropp H. – *Pressverbindungen fur tube dynamische Belastungen*, Maschinenbautechnik, Berlin 37, H10, 1988.
17. Haase K. – *Übermassverluste und Haftbeiwerte bei Pressver-bindungen*, Maschinenbautechnik, Berlin 37, H10, 1988.
18. Harald M. – *Der Pressverband*, Tehnica, 29, nr.21, 1980.
19. Hattori T., Kawai S., Okamoto N. – *Torsional Fatigue strength of a Shrink Fitted Shaft*, Bull. JSME, 24, nr.197, 1981.
20. Hvorostuhin L., Șişkin S. Ustinov. V. – *Vliianie formi posodocinâh poverhnostei na raspredelenie kontaknâh napriajeni v pressovâh soedineniiah*, IVUZ Mașinostroenie, nr.8, 1981.
21. Karkoub M., Elkamel A. – *Modelling pressure distribution in a rectangular gas bearing using neural networks*, Trib. Intern., 30(2), p.139-150, 1997.

22. Laszlo P., George S. – *Stress Analysis of Anisotropic Laminated Cylinders and Cylindrical Segments*, Int.J.Solid Structures, vol.29, No.12, 1992.
23. Makhutov N., Firsov V., Yastrebov S. – *Fretting Fatigue of Press Joints*, Vestnik Maşinostroeniya, vol.71, nr.1, p.13-19, 1991.
24. Marciuk G, Saidurov V.- *Creșterea preciziei soluțiilor în schemele cu diferențe finite*, Ed. Academiei, București, 1981.
25. Meyne K. – *Hidraulic Method of Fitting Marine Propellers*, International Schipbuilding Progress, vol.17, nr.193, 1970.
26. Mocanu D.R.- *Analiza experimentală a tensiunilor*, Ed. Tehnică București, 1976.
27. Pascariu I. – *Elemente finite, concepte – aplicații*, Ed. Militară, 1985
28. x x x – SKF, Druckolverband.
29. x x x – SKF, TSP 5300, Druckolgerate fur Pressverbande.
30. x x x – Ghid de utilizare TURBO PASCAL 5.0-5.5, Ed. Romania Software Comp., Cluj Napoca, 1991.
31. x x x – AutoLISP Release 10 Programmer Reference, Autodesk.
32. x x x - *Germanischer Lloyd. Rules for Classification and Construction*, vol I – Schip Technology, Ed. 1992

CERCETĂRI PRIVIND METODELE DE CONTROL A DEPUNERILOR CU ALIAJE DE TIP CuNiAl - UPB

CAP. III. METODE DE CONTROL DEFECTOSCOPIC NEDISTRUCTIV PENTRU ALIAJE NEFEROASE DE TIP CuNiAl

3.1. Generalități privind încercările și evaluările nedistructive

Încercările nedistructive (Nondestructive Testing – NDT) joacă un rol deosebit de important în ceea ce privește siguranța că piesele unei structuri își vor îndeplini funcțiile un interval de timp predeterminat. Specialiștii din domeniul încercărilor nedistructive au creat și implementează încercări prin care caracterizează materiale sau detectează, localizează și măsoară defecte, defecte care pot determina o întreagă gamă de evenimente cu urmări mai mult sau mai puțin periculoase. Testele se aplică în așa fel încât produsul încercat să nu fie afectat, ceea ce definește de fapt încercările nedistructive. Întrucât încercările nedistructive nu afectează în nici un fel integritatea produsului testat, utilizarea lor este foarte utilă în controlul calității produsului care urmează a fi utilizat.

Evaluarea nedistructivă

Deși uneori noțiunile de evaluare și încercare sunt utilizate ca sinonime, din punct de vedere tehnic, prin evaluare nedistructivă (Nondestructive Evaluation - NDE) se înțelege în primul rând măsurarea și descrierea unui defect, stabilirea formei și poziției acestuia, determinarea caracteristicilor unui material, proprietăților fizice sau magnetice etc.

Numărul de metode de control nedistructiv este foarte mare și în continuă creștere. Cercetătorii continuă să găsească noi căi de aplicare ale fizicii și altor discipline științifice pentru a dezvolta metode de încercare nedistructivă tot mai bune, cu o sensibilitate cât mai mare și cu erori de măsurare cât mai mici. Cu toate acestea, doar opt metode sunt larg răspândite în industrie: examinare optico-vizuală (Visual and Optical Testing - VT), lichide penetrante (Penetrant Testing – PT), pulberi magnetice (Magnetic Particle Testing – MT), curenți turbionari (Eddy Current Testing – ET), radiații penetrante (Radiography Testing – RT), ultrasunete (Ultrasonic Testing – UT), emisie acustică (Acoustic Emission – AE) și controlul etanșeității (Leak Testing – LT).

Metode speciale de control nedistructiv

Metodele speciale de control nedistructiv, de regula, sunt folosite pentru a determina integritatea materialelor.

Definițiile controlului nedistructiv includ și metodele medicale de investigare. Radiatiile X, ultrasunetele și endoscopia sunt folosite ca metode medicale și industriale de control nedistructiv.

Metodele nedistructive se folosesc, în special, la investigarea integrității materialului testat. Numeroase tehnologii moderne (radio-astronomia, măsurarea tensiunii și curentului și determinarea compoziției) sunt nedistructive, dar nu oferă prea multe informații despre proprietățile materialului. Încercările nedistructive sunt legate, în mod practic, de performanțele obiectului încercat, cât de mare trebuie să fie partea testată și când este nevoie să fie re-verificată.

Controlul nedistructiv nu se limitează la detectarea fisurilor. Alte discontinuități, inclusiv porozități, subțierea peretelor prin coroziune și alte clase de discontinuități, delaminări. Caracterizarea nedistructivă a materialului este un domeniu în dezvoltare privind proprietățile materialului incluzând identificarea materialului și caracteristicile microstructurale, cum ar fi polimerizarea, duritatea și tensiunile care au o influență directă asupra duratei de viață a obiectului testat.

Controlul nedistructiv este clasificat în funcție de diferite metode. Această apreciere este practic ceea ce se folosește, de obicei, la nivel înalt în industrie. Metodele speciale sunt descriptive, nestiințifice, limitate ca aplicare față de alte metode de control nedistructiv - cum ar fi analiza acustică Barkhausen, determinarea tensiunilor și holografia – care furnizează informații despre comportarea mecanică a materialului și proprietăți cum ar fi temperatura, elasticitatea, microstructura, comportarea la tensiuni și substanțe chimice.

Ceea ce aceste metode au în comun este faptul că ele au apărut (s-au impus) când metodele clasice au fost depășite (nesatisfăcătoare): emisie acustică, unde electromagnetice, pulberi magnetice, lichide penetrante, radiografice, ultrasunete și control vizual, termografierea în infraroșu și încercarea radiografică cu neutroni (neutronografie).

Unele metode principale – încercarea la etanșitate, emisie acustică, control vizual și termografierea în infraroșu – sunt considerate din punct de vedere formal ca fiind metode speciale. Metoda specială este denumită după un criteriu arbitrar din motive de comoditate. Cu toate acestea, metodele speciale au câteva lucruri în comun cu metodele principale.

Principalele metode au fost dezvoltate, in primul rand, pentru ca ele contribuie la detectarea discontinuitatilor. Metodele speciale duc la descoperirea si masurarea proprietatilor de material cum ar fi: deformatie, incalziri, comportare la tensiuni si solicitari, in cazul materialelor identificate, modul in care un material difera de alte materiale. Acestea sunt motivele caracterizarii 'nedistructive' ale detectarii discontinuitatilor. Cu toate ca principalele metode dau acelasi fel de informatii, ele au fost dezvoltate in primul rand pentru detectarea discontinuitatilor.

Identificarea aliajelor este o ramura a controlului nedistructiv, dar uneori nu este considerat acest lucru pentru ca nu sunt determinate discontinuitati.

Cu toate ca identificarea si clasificarea nedistructiva a aliajelor este folosita de 50 de ani, caracterizarea metalelor a inceput sa primeasca o atentie deosebita in anii 1980. Devine clar ca identificarea aliajelor este ca orice alta metoda, nedistructiva. Diferentele de material din punct de vedere chimic si a caracteristicilor de material care afecteaza durata de functionare a componentei, in multe cazuri sunt mai sigure decat o fisurare puternica. Identificarea aliajelor nu este de fapt o metoda ci o familie de metode, incluzand metode electronice, magnetice, chimice si cu radiatii. Unele metode de identificare a aliajelor includ degradari minore ale suprafetei, cum ar fi coroziune sau polizare.

Tabelul 3.1. Utilizari ale diferitelor metode de testare nedistructivă

Metoda		Scopul testarii			
		Identificarea aliajelor	Detectarea discontinuitatilor	Caracterizarea materialului	Masurarea tensiunilor si deformatiilor
Acustica	Holografie acustica	nu	da ^A	nu	nu
	Acustografie	nu	da	nu	nu
	Control acoustoultrasonic	nu	nu	da	da ^B
	Tehnici fotoacustice	nu	da	da	nu
	Palpare	nu	da	da	nu
	Analiza vibratiilor	nu	da ^C	nu	da ^C
Electrica si magnetica	Metoda Barkhausen	nu	nu	nu	da ^B
	Curenti turbionari	da	da ^D	da ^E	nu
	Magnetooptica	nu	nu	nu	da ^B
	Rezonanta magnetica	nu	da	nu	nu
	Invelis fotoelastic	nu	nu	nu	da
	Rezistivitate	da	nu	da ^E	nu
	Tensiunile induc anizotropii magnetice	nu	nu	da	da ^B
	Termoelectricitate	da	nu	nu	nu
	Triboelectricitate	da	nu	nu	nu

Optica	Interferometrie holografica	nu	da	nu	da
	Urma LASER	nu	nu	nu	da
	Interferometria Moire	nu	da	nu	da
	Imagistica Moire	nu	nu	nu	da
	Triangulatia	nu	da	nu	da
Radiatii	Spectroscopia Emisiilor optice	da	nu	nu	nu
	Controlul scanteii	da	nu	nu	nu
	Control termic si infrarosu	da	da	da ^{B,F}	nu
	Spectroscopie fluorescenta cu raze X	da	nu	nu	nu
Altele	Control chimic	da	nu	nu	nu
	Grila	nu	nu	nu	da
	Difractia neutronilor	nu	nu	nu	da
		nu	nu	nu	da

A. – precizeaza marimea si pozitia defectelor.

B. – masoara tensiunile.

C. – analiza vibratiilor, poate ajuta la determinarea starii materialului, dar in plus controlul trebuie sa confirme prezenta defectelor si deformatiilor.

D. – curentii turbionari sunt folositi in special pentru a detecta discontinuitati(control electromagnetic), dar in cazul de fata aceasta metoda este trecuta ca o metoda speciala deoarece este folosita la identificarea aliajelor.

E. – de exemplu, cazul duritatii.

F. – rezistenta termica, conductivitatea termica, difuzia termica, emisia, conductibilitatea, absorbtia.

De fapt, diferitele materiale care emit radiatii electromagnetice la diferite frecvente sunt bazele pentru metodele cu rezonanta magnetica si termografiere in infrarosu. Caracteristicile electromagnetice ale materialelor pot fi folosite de diferite tehnici de punere in evidenta a tensiunilor.

Dependenta dintre proprietatile materialului si comportarea acestuia

Discontinuitatile de material nu sunt reprezentate numai de lipsa de material sau goluri cum ar fi porii si fisurile. Interfata dintre doua materiale diferite care este practica o discontinuitate poate deveni locul unde se poate produce o ruptura. La solicitarea la presiune si temperatura, un material se poate contracta sau alungi la diferita cote sau grade de contractie ale materialului. Acest mecanism creaza spatii intre straturi in laminate, acelasi mecanism putând produce desprinderi de straturi si fisuri. Acesta este

doar unul din domeniile unde masurarea deplasărilor poate ajuta la detectarea sau prezicerea rupei materialului.

Așa cum s-a precizat anterior, câteva metode speciale (fotoelasticitatea, imagistica Moiré, holografia și altele) sunt folosite la măsurarea tensiunilor. Tensiunile pot conduce la oboseala și eventuale rupe. Tensiunile și deformările sunt dependente unele de altele într-un mod descris în mecanica solidului.

Când materialele sunt supuse acțiunii unor forțe exterioare ele se pot comporta astfel:

- a) să se deplaseze, ca răspuns la acțiunea forței ;
- b) să-și modifice forma.

Dacă secțiunea transversală 'A' a unei bare este supusă uniform la acțiunea unei forțe 'F', tensiunea rezultată este dată de raportul F/A :

$$\text{tensiunea} = F/A \quad (1)$$

Dacă asupra aceleiași bare acționează forțele când bara este comprimată, tensiunea totală este dată de aceeași relație.

Deformațiile limită se referă la modificările relative ale dimensiunilor sau formei corpului tensionat. Pentru bara considerată anterior, dacă lungimea inițială este 'l' și se aplică o forță axială care determină o alungire sau o scurtare cu ' Δl ', atunci deformația (alungire sau compresie) este dată de relația :

$$\text{deformația} = \Delta l/l \quad (2)$$

În cazul în care corpul are o secțiune mai complicată, deoarece deformațiile sunt în mai multe direcții, tensiunile sunt definite ca o măsură a deformațiilor.

Când tensiunile sunt determinate ca o funcție a deformației, un metal ductil are patru regiuni caracteristice de comportament. Inițial, deformația este proporțională cu aplicarea tensiunii și deformația este reversibilă când tensiunea este retrasă ; această zonă este numită zonă de comportare elastică. Alta zonă de comportare caracteristică începe la limita elastică, până la care deformațiile sunt complet reversibile.

Deasupra acestui punct, lucrul care produce deformația poate fi reînceput când materialul revine la dimensiunile inițiale.

După punctul respectiv, deformațiile cresc rapid ca răspuns la creșterea tensiunii, iar materialul nu va reveni la dimensiunile inițiale. Materialul este acum deformat permanent și are noi proprietăți. În continuare, creșterea constantă a tensiunii determină o creștere rapidă a deformațiilor în zona deformațiilor plastice care se termină în zona în

care deformatiile pot crește constant cu reducerea tensiunii. Aceasta se termină în punctul de rupere, în care materialul este distrus.

Dacă punctul de rupere este apropiat de limita elastică, atunci materialul este considerat a fi fragil, iar dacă domeniul plastic de dinaintea punctului de rupere este extins, atunci materialul se spune că este ductil. Dacă aceste modificări dimensionale sunt constrânse din diverse motive, răspunsul la aplicarea forțelor exterioare este apariția tensiunilor reziduale în material.

Relația dintre tensiunile și deformările din material este un lucru important în descrierea și interpretarea controalelor nedistructive, în special utilizarea metodelor speciale.

Metodele de control defectoscopic nedistructiv pentru aliajele neferoase de tip CuNiAl sunt prezentate în cele ce urmează.

3.2. Metode acustice

Examinarea cu ultrasunete prezintă, în raport cu alte metode de examinare, următoarele avantaje:

- controlul cu ultrasunete pune în evidență aproape toate tipurile de discontinuități în materialul metalic, tri sau bidimensionale;
- nu necesită măsuri speciale de protecție nici pentru operator și nici sub aspect ecologic;
- rezultatele controlului se obțin imediat, adică în timp real;
- sensibilitatea metodei este la nivelul de 0,5 mm pentru defecte tridimensionale; defectele bidimensionale foarte fine cu dimensiuni oricât de mici ca deschidere, care au totuși, două dimensiuni comparabile cu lungimea de undă US pot fi detectate mult mai bine decât prin control radiografic;
- probabilitatea de detectare a discontinuităților, la grosimi de material mai mari de 20 - 30 mm este superioară defectoscopiei cu radiații;
- detectarea defectelor situate la adâncime mare în materiale metalice omogene (peste 10 m lungime produse laminate sau forjate din oțel);
- localizarea defectelor în raport cu suprafața de examinare;
- posibilități de estimare a formei defectelor;

- măsurarea defectelor cu o bună aproximare, în 2D și în unele cazuri, în 3D;
- măsurarea grosimilor de pereți atunci când produsului examinat este accesibil pe o singură suprafață: cazane, conducte, țevi etc.;
- determinări de constante elastice ale materialelor;
- echipament portabil cu greutate minimă în jur de 300 g, ceea ce permite examinarea ușoară în condiții de șantier sau pe teren;
- posibilitatea de automatizare a examinării;
- integrarea în sisteme IT;
- din punct de vedere economic, controlul US este mai ieftin decât controlul cu radiații.

Principalele limite în controlul US sunt:

- în cele mai multe cazuri necesitatea contactului dintre palpator și piesa examinată;
- pasul mic de control, timp mare de examinare;
- necesitatea utilizării unui material de cuplare;
- dificultăți la examinarea materialelor cu granulație mare sau a celor eterogene;
- operațiile de control și interpretarea rezultatelor sunt complexe ceea ce impune un nivel ridicat de calificare competență și conștiinciozitate din partea personalului operator.

Domeniul de utilizare al controlului US cuprinde în principal următoarele:

- * table și benzi, țagle și bare rotunde laminate;
- * șine de cale ferată și tramvai;
- * țevi sudate sau nesudate;
- * îmbinări sudate cap la cap prin topire și prin presiune;
- * componente pentru autovehicule, piese pentru vase, avioane și rachete;
- * instalații din domeniul energetic;
- * componente pentru industria nucleară;
- * butelii de gaz și tuburi pentru proiectile;
- * valțuri și conducte; determinarea caracteristicilor unor materiale metalice;
- * materiale placate;
- * arbori și axe, poansoane, matrițe;
- * în condiții speciale, materiale nemetalice: beton, compozite etc.

Standarde și norme

a. STAS 6914-90 Control nedistructiv acustic. Defectoscopie ultrasonică.

Terminologie

Acest standard îl înlocuiește pe cel din 1975 și stabilește terminologia utilizată în domeniul controlului nedistructiv cu ultrasunete. Practic, standardul conține o listă a termenilor specifici domeniului cu definirea acestora și trimiteri la alte standarde, în unele cazuri.

Se consideră ca standarde conexe:

STAS 737/7-83 *Unități ale mărimilor caracteristice fenomenelor periodice și conexe.*

STAS 737/12-81 *Unități de măsură ale mărimilor caracteristice acusticii.*

b. SR EN 1713-2000 Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea cu ultrasunete. Caracterizarea indicațiilor din suduri

Versiune în limba română a normei europene EN 1713 - 1998, standardul definește o procedură sub forma unei scheme logice pe baza căreia se clasifică indicațiile de defect obținute în examinarea US în două categorii: indicații care provin de la defecte plane și indicații care provin de la defecte tridimensionale.

Schema logică comportă 5 etape:

- 1 - ecourile de amplitudini foarte mici se consideră ca indicații neconcludente și nu se clasifică;
- 2 - ecourile cu amplitudini mari se consideră ca indicații provenite de la discontinuități plane;
- 3 - clasificarea preferențială a lipsei de topire;
- 4 - clasificarea preferențială a incluziunilor;
- 5 - clasificarea preferențială a fisurilor.

Indicațiile combinate, rezultate, de exemplu, din asocierea unor indicații de incluziuni și a lipsei de topire sunt clasificate ca plane, conform procedurii precizate în normă. În cazul în care indicațiile obținute nu permit încadrarea clară într-o categorie sau alta, examinarea US se va completa fie cu o altă metodă de examinare, de exemplu, radiografiere, fie cu o analiză US suplimentară: folosirea unor palpatoare adiționale, analiza aspectului ecodinamic al examinării într-o mișcare laterală

c. SR EN 1714-2000 Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea cu ultrasunete a îmbinărilor sudate

Reprezintă traducerea în limba română a normei EN 1714 - 1997 și înlocuiește standardul 9552-87. Acest standard descrie o metodă de examinare cu ultrasunete a

îmbinărilor sudate, cerințele privind calificarea personalului implicat în examinarea US a îmbinărilor sudate, condițiile impuse echipamentului necesar, recomandări privind volumul controlat, modul de pregătire a suprafețelor, recomandări privind examinarea materialului de bază, tehnicile de examinare recomandate și cerințele privind conținutul rapoartelor de examinare. Într-o anexă, sunt precizate nivelurile de examinare pentru diferite tipuri de îmbinări sudate.

d. STAS 12377 - 85 Controlul ultrasonic al placărilor prin sudare, laminare și explozie

Standardul se referă la examinarea materialelor placate cu grosimea stratului placat cuprinsă între 3 și 15 mm și conține referiri la:

- condițiile tehnice de efectuare a controlului:
 - aparatura de control: defectoscopul ultrasonic și condițiile pe care trebuie să le îndeplinească, palpatoarele necesare;
 - sistemul defectoscop - palpator și condițiile pe care trebuie să le îndeplinească;
 - starea suprafeței de examinare;
 - mediul de cuplare (apă, ulei, vaselină, glicerină);
 - condiții privind competența personalului care efectuează examinarea.
- procedee de examinare:
 - cu palpator normal monocristal de unde longitudinale;
 - cu palpator dublu cristal;
 - cu palpatoare înclinate de unde longitudinale și/sau de unde transversale;
 - aprecierea rezultatelor;
 - mențiuni în raportul de examinare.

e. STAS 7802 - 79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor

Terminologie

Extras din STAS 6914-90 *Control nedistructiv acustic. Defectoscopie ultrasonică.*

Terminologie

- *Defectoscop ultrasonic* - instalația care permite evidențierea și localizarea unui defect într-o piesă, cu ajutorul impulsurilor ultrasonore.
- *Amplificare* - modificarea controlată a înălțimii semnalelor vizualizate de defectoscopul ultrasonic.

- *Atenuare* - diminuarea intensității unui fascicul ultrasonic.
- *Baza de timp* - urmă luminoasă, orizontală, pe ecranul tubului catodic al defectoscopului, obținută astfel încât distanțele măsurate de-a lungul ei sunt proporționale cu timpul, respectiv parcursul electronic.
- *Bloc de etalonare* sinonim *bloc de calibrare* - piesă cu dimensiuni precizate și proprietăți fizice cunoscute, utilizată pentru calibrarea și verificarea echipamentului de control cu ultrasunete.
- *Bloc de referință* - Piesă care ajută la interpretarea rezultatelor obținute de la o instalație de control ultrasonice, în general din același material cu obiectul controlat, având dimensiuni și forme semnificative. Blocul de referință poate conține sau nu defecte artificiale sau naturale.
- *Cuplare* - asigurarea unei transmisii acustice corespunzătoare între traductor și piesa de examinat.
- *Ecou* - impulsul US reflectat și recepționat de traductor.
- *Ecou de defect* - ecou provenit din reflexia impulsului ultrasonic incident de pe o discontinuitate a piesei de examinat.
- *Ecou de fund* - ecou provenit de la suprafața piesei, opusă suprafeței pe care este așezat traductorul. Termenul se referă în general la traducție normală.
- *Ecou de muchie* - ecou provenit de la muchia unei piese. Termenul se referă în general la traductoare înclinate.
- *Ecou de referință* - ecou provenit de la un reflector cunoscut (gaură, muchie, canelură, suprafața piesei) folosit la reglarea și/sau controlul sensibilității, uneori și la aprecierea importanței defectelor.
- *Ecou fals* - ecou indirect al defectului obținut prin reflexii intermediare parazite.
- *Ecouri multiple* - ecouri provenite de la reflexia repetată a impulsului ultrasonic între suprafața de examinare și o discontinuitate a piesei sau fundul piesei.
- *Iarbă* - ecouri mici ce apar, în prezentarea A, datorită zgomotului de amplificare și zgomotului de material și care se suprapun peste axa orizontală, dându-i un aspect de iarbă.
- *Indicație* - semnal pe ecranul defectoscopului, care indică recepția unui ecou.
- *Interfață* sinonim *dioptru acustic* sinonim *suprafață de separare* - suprafața de separare dintre două medii cu proprietăți acustice diferite.

- *Prezentare A* - formă de prezentare pe tubul catodic, în coordonate rectangulare, având în abscisă timpul de propagare iar în ordonată amplitudinea impulsului reflectat.
- *Prezentarea B* - formă de prezentare pe tubul catodic, în coordonate rectangulare, având în abscisă deplasarea traductorului (în general rectilinie), iar în ordonată timpul de propagare a impulsului reflectat.
- *Prezentare C* - formă de prezentare pe tubul catodic, în coordonate rectangulare, care corespund cu coordonatele suprafeței de examinare (deplasarea traductorului) înregistrându-se amplitudinea ecoului
- *Prezentare D* - formă de prezentare pe tubul catodic, în coordonate rectangulare, care corespund coordonatelelor de deplasare a traductorului (distanța de la defect).
- *Reflector* - discontinuitatea unei piese care produce reflexia fasciculului ultrasonic incident. Reflectorul poate fi plan, cilindric, sferic etc.
- *Sensibilitatea aparatului* - raportul (în decibeli) dintre puterea impulsului de emisie și puterea unui ecou echivalent care egalează în înălțime zgomotul aparatului.
- *Sensibilitatea de evidențiere* - mărimea minimă a defectului al cărui ecou poate fi distins prin amplitudinea sa de alte ecouri de pe ecranul aparatului, în condiții date de examinare.
- *Sinigramă* - reprezentarea grafică a părții utile a fasciculului ultrasonic produs de un anumit traductor.
- *Traductor* sinonim *palpator* - unitate constructivă cuprinzând unul sau mai multe piezoelemente care emit și/sau recepționează energia acustică..
- *Traductor normal* - traductor care emite unde sub un unghi de zero grade față de normala la suprafața de contact.
- *Traductor înclinat* sinonim *traductor unghiular* - traductor care emite unde transversale sau longitudinale în intervalul dintre unghiurile critice corespunzătoare materialului.
- *Transparență ultrasonică* - proprietatea unui material de a permite trecerea undelor ultrasonore cu o anumită atenuare.
- *Unghi de incidență* - unghiul din traductor dintre axa fasciculului și normala la talpa traductorului.

- *Unghi de pătrundere al traductorului* - unghiul în piesă format între axa fasciculului și talpa traductorului corespunzător unui anumit material.
- *Zona moartă* - zona din materialul controlat, măsurată de la traductor spre interiorul piesei, în care nu pot fi obținute indicații defectoscopice.

Aspecte teoretice. Tipuri de unde

Oscilațiile mecanice într-un mediu material format dintr-o mulțime de puncte legate între ele prin forțe elastice se propagă sub formă *unde elastice*.

În funcție de modul în care mișcarea oscilatorie se transmite de la o particulă la alta și de direcție de propagare a mișcării, undele elastice pot fi:

a. Unde longitudinale sau de compresiune, când direcția de oscilație a particulelor este paralelă cu direcția de propagare (fig. 3.1). Acolo unde particulele sunt aglomerate, zonă de comprimare, presiunea va fi mai mare decât în regiunile unde aceste particule sunt mai rare, zonă de rarefiere.

Extras din STAS 6914-90

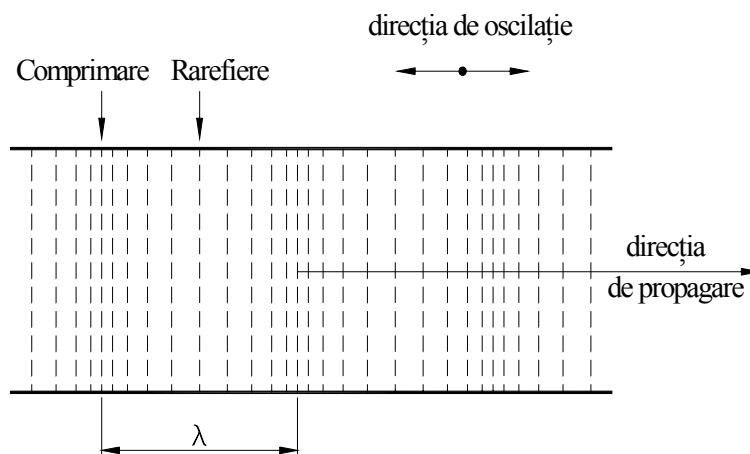


Fig. 3.1. Unde longitudinale.

"Undă longitudinală - undă elastică la care direcția de vibrație a particulelor mediului este paralelă cu direcția de propagare (se numește și undă de compresie)".

"Undă longitudinală târătoare - undă emisă la 90° într-un material, însoțită de o undă transversală emisă la 33° ".

Propagarea undelor longitudinale este legată de variații locale de presiune, de densitate și de volum specific. Fiecare particulă de material o împinge pe următoarea așa încât perturbarea inițială care a generat oscilația primelor particule, se propagă în orice mediu. Undele longitudinale se propagă în medii solide lichide și gazoase. Propagarea

unde longitudinale se face cu viteza sonică, C_L , caracteristică fiecărui material. Această viteză este în mare măsură independentă de frecvență, dar depinde starea de agregare, de structura cristalină, de temperatură, de presiunea statică a mediului de propagare și de modulul de elasticitate al materialului.

b. Unde transversale sau de forfecare, când direcția de oscilație a particulelor este perpendiculară pe direcția de propagare (fig. 3.2.). Undele transversale se propagă doar în medii solide, deoarece gazele și lichidele nu opun nici un fel de rezistență față de solicitări de forfecare. Acest tip de undă mai apar în coarde vibrante: vioară, chitară etc.

Formarea undelor transversale nu este posibilă decât în mediile care pot prelua tensiuni de forfecare, adică în mediile care au o anumită rigiditate transversală (modulul de elasticitate transversală este diferit de zero). Pentru propagarea acestor unde ultrasonore este necesar ca fiecare particulă să exercite o forță de atracție asupra particulelor învecinate. Propagarea se face fără variație de volum specific și se bazează pe modul de exercitare a forțelor de atracție care au componente longitudinale și transversale. Oscilația primelor particule se transmite celor următoare, componentele longitudinale se anulează reciproc și componentele transversale se însumează și pun în mișcare particula următoare tot în direcție transversală față de direcția de propagare.

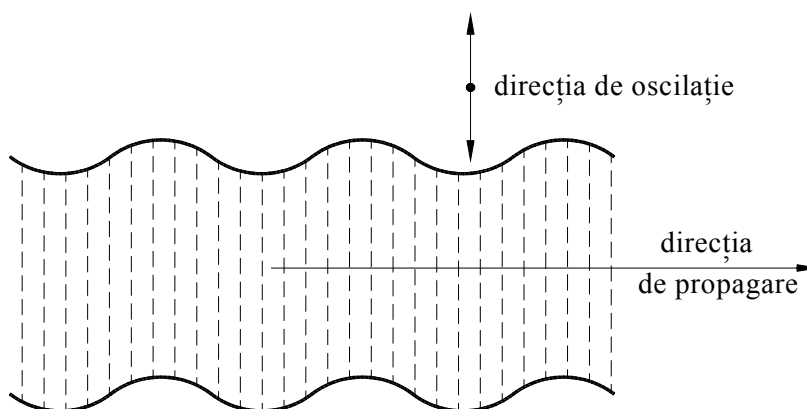


Fig. 3.2. Unde transversale.

Viteza de propagare a undelor transversale este mai mică decât viteza de propagare a undelor longitudinale. În situația în care materialul este mărginit, există și alte tipuri de unde, care se formează din unde longitudinale sau transversale sau care se compun din combinații ale acestora.

c. **Unde de placă sau unde Lamb** (sau de bară) când undele elastice sunt generate în plăci sau în bare subțiri, apar vibrații complexe care depind de grosimea materialului, de lungimea de undă și de tipul materialului solid.

Undele Lamb apar în locul undelor transversale când dimensiunile corpului solid sunt comparabile cu lungimea de undă a ultrasunetelor.

Particulele mediului efectuează o mișcare pe o traiectorie eliptică într-un plan perpendicular pe direcția de propagare a frontului de undă.

Undele Lamb pot fi *simetrice* sau de dilatare (fig. 3.3.) sau *asimetrice* sau de încovoiere (fig. 3.4).

O undă longitudinală ajunsă în incidență oblică pe suprafața unui obiect de examinat poate conduce la generarea undelor Lamb. O undă simetrică afectează întreaga grosime a plăcii sau barei subțiri de că și cum aceasta s-ar dilata și s-ar comprima succesiv după o direcție perpendiculară pe direcția de propagare.

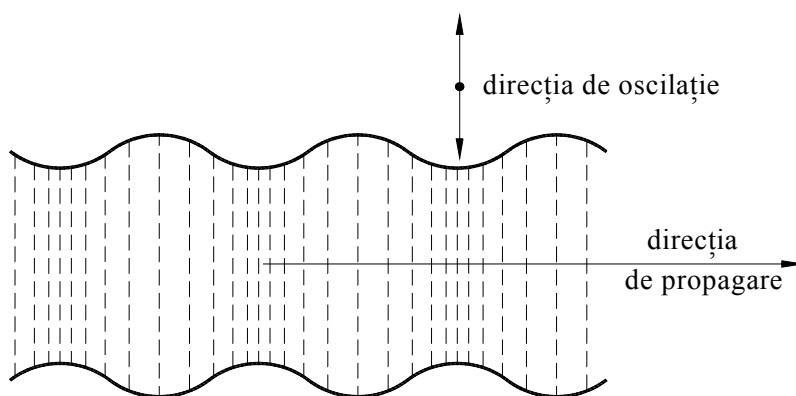


Fig. 3.3. Unde Lamb simetrice.

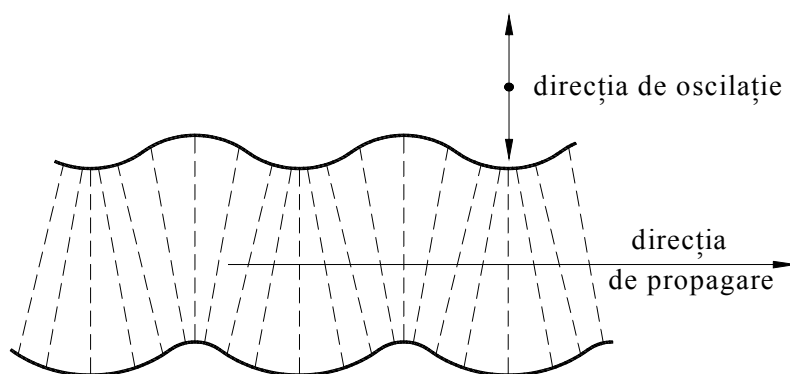


Fig. 3.4. Unde Lamb asimetrice.

Unda de încovoiere, Lamb asimetrică, se transmite de ca și cum placa s-ar ondula perpendicular pe direcția de propagare. Din cauza modului mai complex de propagare, o combinație între undele transversale și cele longitudinale, viteza de propagare a undelor Lamb este mai mică decât a celorlalte luate separat.

d. Unde Rayleigh sau unde de suprafață (fig. 3.5) - unde care afectează numai un strat subțire, la suprafața materialului, pe o adâncime de câteva lungimi de undă. Undele Rayleigh sunt unde bidimensionale cu o atenuare mai mică decât cea a undelor longitudinale sau transversale și, la fel ca și undele Lamb, se propagă numai în medii solide.

Sub acțiunea acestor unde, suprafața obiectului examinat va avea o mișcare combinată longitudinală și transversală, particulele de material având o mișcare de oscilație după o traiectorie eliptică. Condiția apariției acestui tip de undă, care afectează o grosime a corpului solid ceva mai mare decât lungimea de undă este un unghi de pătrundere în material mai mare decât cel de al doilea unghi critic și o suprafață de separare a două medii cu impedanțe acustice foarte diferite (de exemplu: oțel-aer).

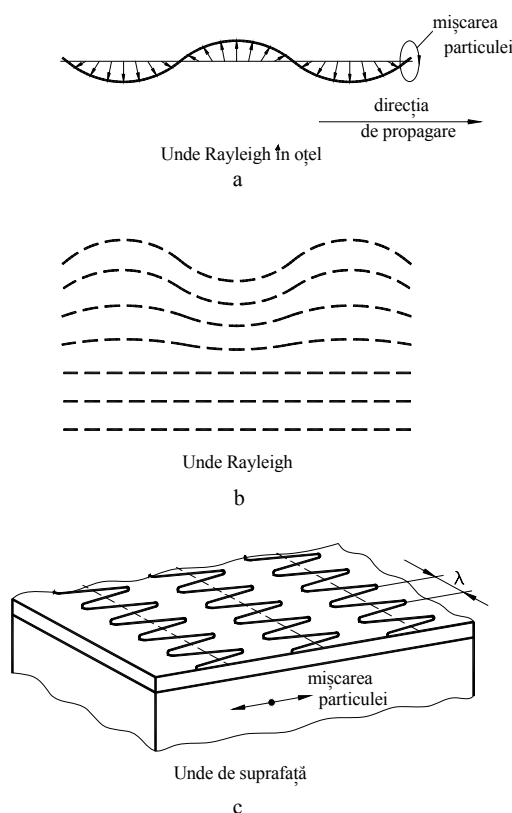


Fig. 3.5. Unde Rayleigh:

- a - mișcarea particulelor și direcția de propagare; b - schematizarea undelor Rayleigh;
- c - propagarea undelor de suprafață într-un corp finit.

În ansamblu, undele Rayleigh sunt constituite dintr-un număr de cicluri, ceea ce înseamnă că toate particulele vor descrie traiectorii eliptice, de aceeași formă la diverse adâncimi de la suprafață. Întrucât undele Rayleigh se propagă și după muchiile obiectului de investigat, ele pot fi folosite la detectarea defectelor de suprafață, în cazul unor suprafețe greu accesibile. În figura 3.5a sunt prezentate schematic: traiectoria unei particule atunci când ea este implicată într-o mișcare oscilatorie tip Rayleigh, în fig. 3.5b este schematizată propagarea undei de suprafață și în figura 3.5c propagarea undelor într-un corp solid. Se evidențiază grosimea de material afectată în comparație cu lungimea de undă.

Mărimi caracteristice ale undelor US

Mișcarea fiecărei particule din mediul în care se propagă undele US este caracterizată de următoarele mărimi fizice: elongație, fază, frecvență, amplitudine, viteză

➤ **Viteza sonică**, viteza de propagare a undelor, notată cu c , este dependentă de natura mediului și anume de densitatea acestuia și de viteza de propagare. În tabelul 3.2. sunt precizate câteva valori ale vitezelor de propagare în materiale uzual examinate sau folosite în controlul cu ultrasunete.

Tabelul 3.2. Câteva mărimi caracteristice la propagarea undelor US la temperaturi de 15-20 °C

Nr.	Mediul de propagare	Densitatea, ρ 10 ³ Kg/m ³	Viteza, c_L m/s	Viteza, c_T m/s	Impedanta acustica, $\rho \cdot c_L$ 10 ⁶ kg. s /m ²
1.	Oțel	7,85	5940	3230	45,9
2.	Aer	1,293 · 10 ³	331	-	0,92
3.	Aluminiu	2,7	6300	3080	17
4.	Araldit	1,2	2500	1070	3
5.	Argint	10,5	3600	1590	38
6.	Cadmiu	8,02	2780	1500	22,8
7.	Cauciuc	0,91	1479	-	2,09
8.	Cauciuc artificial dur	1,2	2300	-	2,8
9.	Cupru	8,93	4600	2260	41
10.	Apă	0,999	1483	-	1,43
11.	Apă de mare	1,025	1510	-	1,55
12.	Fier	7,87	5850	-	46
13.	Fontă cenușie	6,9...7,35	3500...5800	2200...3200	-
14.	Magneziu	1,7	5800	3080	9,1
15.	Molibden	10,2	6250	3350	73,7
16.	Nichel	8,9	5600	2960	50
17.	Aur	19,32	3240	1200	63
18.	Plexiglas	1,2	2680	1250	3,2
19.	Plumb	11,4	2160	700	24,6
20.	Oțel inoxidabil	7,9	5650	3060	45
21.	Cuarț	2,65	5720	3515	15,2

		Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006			
22.	Titan	4,5	5990	3120	27
23.	Wolfram	19,3	5460	2620	83
24.	Zinc	7,1	4170	2410	29,6
25.	Zirconiu	6,51	4650	2300	30,3

Valorile vitezelor acustice depind de starea materialului: brut turnat, recopt, recristalizat etc., de puritatea și de compoziția chimică, în cazul aliajelor și de temperatură. De aceea valorile sunt ușor diferite de la autor la autor. În general, autorii precizează valorile medii.

➤ **Impedanța acustică**, $z = \rho \cdot c$, este o mărime caracteristică a mediului. Impedanța acustică este foarte mică pentru gaze, astfel pentru o bună transmitere a energiei ultrasonore în materialul piesei de investigat este necesar să se folosească un material de cuplare lichid, cu o impedanță acustică mult mai bună.

➤ **Lungimea de undă**, $\lambda = c / f$, depinde de frecvența f și de viteza de propagare. La examinarea materialelor metalice, exprimând într-un mod simplist, se poate spune că defectul minim detectabil trebuie să fie mai mare decât lungimea de undă a undei utilizate.

Proprietăți și fenomene utile în defectoscopia US

Ultrasunetele au numeroase proprietăți în interacțiunea cu materia. Dintre acestea numai unele sunt în mod deosebit utile în defectoscopia US.

Intrucât majoritatea defectelor detectabile US sunt discontinuități în material, discontinuitate care se caracterizează din punctul de vedere al propagării undelor prin aceea că are o impedanță diferită, cele mai importante proprietăți ale US sunt cele care se manifestă la interfața a două medii: material piesă-discontinuitate și anume:

- difracția și difuzia undelor ultrasonore.
- atenuarea US în funcție de distanța strabătută;

Undele sonice prezintă proprietatea de **difracție** - de ocolire - a obstacolelor. Fenomenul constă în diminuarea mărimii "umbrei" din spatele unui obstacol și este asemănător fenomenului de ocolire specific luminii.

În cazul examinării cu ultrasunete, cunoașterea difracției are o importanță practică deosebită deoarece la aprecierea mărimii defectului real trebuie să se țină cont de unghiul η , care caracterizează fenomenul de ocolire.

Fenomenul de difracție a undelor se explică pe baza principiului lui Huygens: "unde care se propagă în afara unei suprafețe închise, conținând sursa de oscilație, sunt identice cu undele care s-ar obține înlocuind sursa respectivă cu surse elementare

separate, convenabil repartizate pe toată suprafața și a căror înfășurătoare constituie noul front de undă".

Discontinuitățile din material - obstacole - pot produce pe lângă difracție și fenomenul de **difuzie** a undelor.

În STAS 6914-90, *difuzia* este definită ca fiind: *scăderea presiunii ultrasonice ca urmare a reflexiei, sau refracției prin materialul străbătut*.

Fenomenul de difuzie înseamnă deci, o anumită împrăștiere cauzată de mici reflexii și refracții în interiorul materialului, la limitele de grăunți sau în structura cristalină a acestuia, sau altfel spus, abaterea unei părți a energiei ultrasonore de la direcția de propagare a fasciculului. Difuzia este una dintre cauzele principale ale atenuării.

În afară de **atenuarea** în funcție de distanță, ca urmare a interacțiunii US cu mediul în care se propagă, o parte de energie se transferă mediului, se consumă deci, ceea ce conduce la o atenuare a energiei sonore. Atenuarea are două cauze principale: *absorbția* și *difuzia* sau împrăștierea.

Absorbția se produce datorită faptului că o parte din energia ultrasonoră este direct convertită în căldură. La propagarea fasciculului o parte din energia acestuia se transformă în căldură ca urmare a microfrecărilor care se manifestă la transmiterea mișcării de oscilație de la o particulă la alta, în radiație termică, variații ale energiei cinetice a moleculelor, difuzie datorită diferenței de presiune etc..

Difuzia sau *împrăștierea* determină o diminuare a energiei fasciculului întrucât o parte din energie se consumă pe altă direcție decât direcția principală de propagare a unei incidente.

Câteva valori ale coeficientului de atenuare în diverse materiale sunt prezentate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Valori ale coeficientului de atenuare α în cazul undelor longitudinale cu frecvența de 2 MHz

Material	α (dB/m)
Oțel	5 - 50
Aluminiu	1 - 5
Apă	1
Fontă	20 - 200
Plexiglas	500

Cunoscând coeficienții de atenuare precum și cauzele care determină acest fenomen se pot stabili o serie de recomandări practice în vederea stabilirii, pe de o parte,

a oportunității aplicării controlului US și, pe de altă parte, a măsurilor de prevedere pentru compensarea atenuării sau pentru stabilirea limitelor de aplicabilitate. De exemplu, produsele laminate din oțel, aluminiu și magneziu se pot controla fără probleme cu frecvențe de 2 - 6 MHz, în timp ce piesele turnate tot din oțel sunt controlabile, cu mari precauții cu frecvențe de 0,5 - 1 MHz. Ultrasunetele sunt puternic absorbite în gaze și slab absorbite în lichide și solide.

Produsele turnate prezintă o atenuare superioară structurilor deformate, chiar la aceeași mărime a granulației. Din punctul de vedere al tehnologiei de prelucrare atenuarea crește conform sensului precizat în figura 3.6.

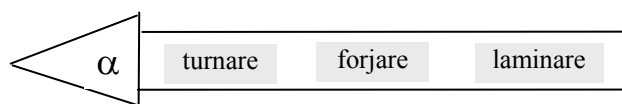


Fig. 3.6. Sensul de creștere a atenuării în funcție de tehnologia de prelucrare a produsului examinat.

Produsele laminate, forjate și în mod special cele turnate din oțeluri inoxidabile austenitice precum și oțelurile refractare, bogat aliate cu crom, nichel sau mangan, unele aliaje neferoase cum ar fi alamele și **bronzurile** se pot controla US numai în anumite cazuri particulare, în funcție de compoziția chimică efectivă, structură și dimensiunea caracteristică graunților cristalini. În general, materialele mai sus enumerate se controlează greu cu ultrasunete având un coeficient de atenuare mare. Pentru a mări puterea de penetrare este necesar să se folosească unde cu lungime de undă mai mare, astfel încât să fie mult mai mare decât dimensiunea graunților cristalini.

3.3. Examinări nedistructive prin emisie acustică

Emisia acustică este generată de o descărcare spontană de energie, parțial, sub formă de vibrații de natură mecanică produsă într-un material, o piesă sau o structură atunci când este supusă unei solicitări.

În anul 1960 s-au făcut primele observații privind posibilitățile de a se detecta fisurile din vasele și recipientii sub presiune prin captarea și analiza semnalelor acustice generate de propagarea fisurilor. Primele aplicații ale emisiei acustice în controlul nedistructiv au fost semnalate începând cu anul 1964, dar studiul sistematic al fenomenului denumit "emisie acustică" a început după anul 1980. S-a conturat astfel o nouă metodă de control nedistructiv bazată pe analiza emisiei acustice care poartă

informații despre structura materialului, continuitatea acestuia, evoluția unor discontinuități etc.

Investigarea unui produs metalic prin această metodă constă, în principal, din următoarele:

- solicitarea produsului cu o forță crescătoare prin: îndoire, presare, lovire etc.
- solicitarea produce deformații, ruperi, modificări de structură etc. însoțite de emisie acustică;
- detectarea, înregistrarea și analiza emisiei acustice pentru punerea în evidență a informațiilor ce caracterizează materialul și comportamentul în timpul solicitării.

Fenomenul de emisie acustică poate fi generat de:

- apariția și creșterea fisurilor;
- scurgerea fluidelor prin interstiții;
- lichefierea și solidificarea materialelor;
- transformările de fază în stare solidă (de exemplu, formarea martensitei);
- microfrecările între suprafețele fisurilor sau între alte suprafețe, fără deplasări macroscopice;
- degajările de gaze în timpul coroziunii;
- mișcările structurale de dislocare, în domeniul deformațiilor elastice;
- realinierea domeniilor magnetice și creșterea acestora (zgomotul Barkhausen);
- defectări în instalațiile electrice (străpungerea izolațiilor, descărcări de condensatoare);
- spargerea peliculelor de oxizi, acoperiri de protecție, zgură;
- desprinderea așchiilor la prelucrarea prin așchiere;
- fenomenul de cavitație etc.

Semnalul emis de aceste surse poate avea frecvențe cuprinse în domeniul 30 kHz...1MHz (valori frecvente în domeniul 100...300kHz).

La detectarea emisiei acustice o problemă importantă este separarea semnalelor utile din ansamblul semnalelor acustice provenite din alte surse cum ar fi: vibrații generate de funcționarea motoarelor, angrenajelor, zgomote produse la sudare, emisii de fluide etc.

Schema de principiu a controlului prin emisie acustică

Produsul examinat este supus unei solicitări, în fig. 3.7 – o solicitare la tracțiune. Fisura existentă în interiorul produsului este o sursă de emisie acustică, fie datorită

microfrecărilor care se produc între suprafețele acestora, fie datorită creșterii, propagării fisurii. Semnalul acustic produs ca urmare a eliberării rapide de energie se propagă prin materialul controlat sub formă de unde elastice ce pot fi detectate la suprafața produsului cu ajutorul unor senzori denumiți captori.

Un captor conține, în principal, un traductor care transformă oscilația mecanică în oscilație electrică. Semnalul electric este transmis defectoscopului, unde este amplificat și prelucrat în diverse moduri astfel încât informațiile să poată fi analizate și interpretate.

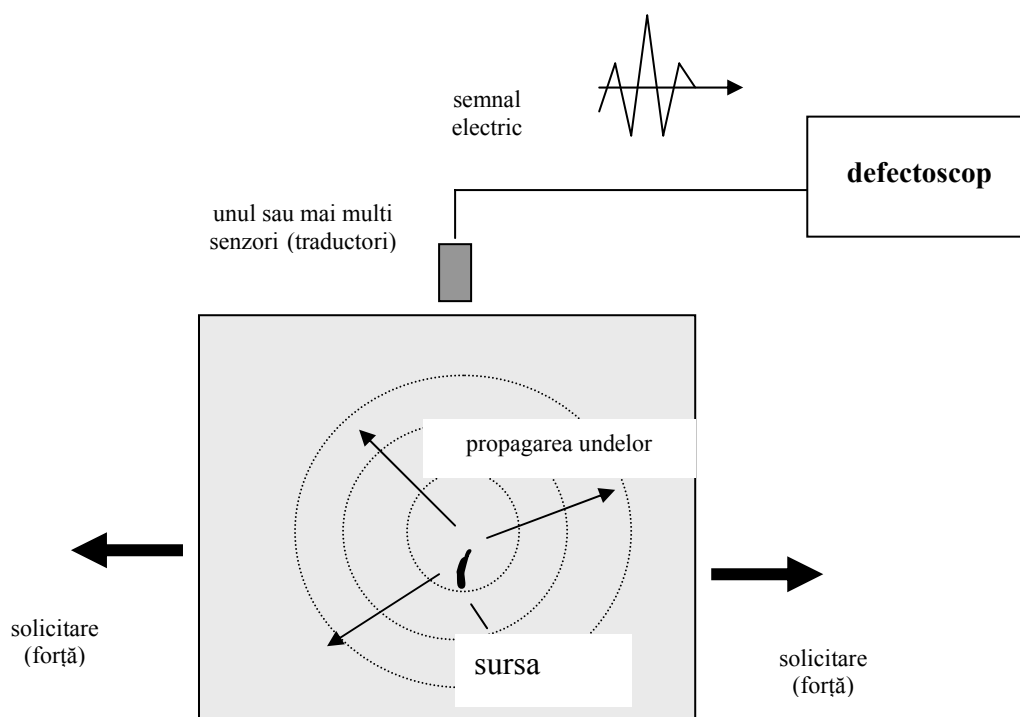


Fig. 3.7. Schema de principiu a controlului prin analiza emisiei acustice

Comparație cu alte metode de control nedistructiv

Examinarea prin analiza emisiei acustice (EA) s-a extins foarte repede ocupând în prezent un loc bine precizat printre alte metode de încercări nedistructive. Principalele domenii de utilizare sunt: monitorizarea integrității structurilor, semnalarea pierderilor prin neetanșeități, detectarea fisurilor incipiente sau chiar în momentul apariției acestora, caracterizarea comportării materialelor.

EA diferă față de alte metode de control prin următoarele două particularități:

- energia detectată provine din interiorul materialului, nu este introdusă din afară, prin echipamentul de control (ca la controlul cu ultrasunete sau radiații penetrante);

- metoda permite analiza proceselor în dinamica lor, asociată cu degradarea integrității structurale.

În comparație cu alte metode de control nedistructiv EA, prezintă în principal, următoarele avantaje:

- examinarea poate fi făcută în regim dinamic, cu produsul în funcțiune;
- pot fi controlate obiecte în chiar timpul fabricării lor;
- analiza emisiei acustice poate fi utilizată pentru supravegherea continuă a funcționării unor instalații sub presiune și prevenirea unor catastrofe (explozii, scurgeri toxice etc) prin detectarea defectelor în momentul apariției lor;
- controlul produsului este global (nu este nevoie să se scaneze întreaga suprafață a obiectului);
- detectarea defectelor se face cu o sensibilitate ridicată;
- localizarea defectului poate fi făcută în timp și în spațiu;
- se poate evidenția evoluția unui defect sau a unei modificări de fază sau structură;
- controlul se poate face de la distanță fără condiții speciale de accesibilitate la structură;
- pot fi controlate materiale eterogene sau cu structuri complicate, metalice, plastice, ceramică, sticlă, compozite etc.;
- rezultatele examinării nu sunt afectate de mărimea și orientarea defectului, de geometria obiectului controlat;

Particularitățile negative, care limitează domeniul de utilizare, sunt:

- interpretare complicată a rezultatelor din cauza interferențelor cu semnale acustice provenite din surse parazite;
- dificultăți de descriere a tipului de defect;
- dificultăți de măsurare și stabilire a formei defectelor;
- emisia acustică este generată ca urmare a existenței unei solicitări mecanice;
- metoda este la granița dintre controlul distructiv și cel nedistructiv deoarece, în multe situații, este detectat numai momentul creșterii unei fisuri;
- costul relativ ridicat al echipamentului și al softurilor necesare pentru interpretarea rezultatelor și localizarea defectelor.

Principalul dezavantaj al controlului prin emisie acustică este acela că semnalul este alcătuit dintr-un număr foarte mare de componente de frecvențe diferite, fiecare

având amplitudini și faze inițiale diferite. Din aceste motive, decodificarea, în scopul identificării surselor care au produs emisia este extrem de dificilă.

Din punct de vedere teoretic, există posibilitatea descrierii matematice a propagării undelor sonore și a stabilirii unor modele prin care să se decodifice semnalele recepționate. Pentru evitarea situațiilor confuze, ca și la orice altă metodă de control nedistructiv, este necesară studierea atentă a unor produse cu defecte cunoscute și alcătuirea unei bănci de date cu tipurile de semnale provenite de la sursele cel mai frecvent posibile într-un anumit context (de exemplu, semnalul provenit de la amorsarea corectă a unui arc electric, sau semnalul provenit de la apariția unei fisuri longitudinale într-un material metalic.

Tabelul 3.4. Termeni și definiții din domeniul emisiei acustice

Termen	Definiție
Emisie acustică	fenomenul de creare a undelor elastice ca urmare a eliberării bruște de energie de către un material supus unei solicitări de natură mecanică.
Sursă	locul în care se generează evenimente de emisie acustică (originea fizică a unui sau mai multor evenimente de emisie acustică).
Eveniment	apariția unei macro sau microdeplasări care determină descărcarea locală de energie (cauza apariției emisiei acustice.)
Salvă	semnal de formă oscilatorie caracterizat de o creștere rapidă a amplitudinii oscilațiilor, urmată de o descreștere, în general mai lentă, până la o valoare apropiată nivelului inițial.
Impuls	semnal caracterizat de o creștere fără oscilații a amplitudinii la valoarea sa maximă urmată de o scădere quasi-imediată la nivelul de referință.
Emisie continuă	emisie în care salvele sau impulsurile nu pot fi separate unele de altele.
Emisie discretă	emisie în care salvele sau impulsurile pot fi separate unele de altele.
Traductor	dispozitiv care convertește parametri fizici ai undelor în semnale electrice.
Cuplant	substanță interpusă între mediul de propagare a undelor și traductor cu scopul îmbunătățirii transferului de energie acustică.
Prag	nivel de referință.
Decibel (dB)	unitate de măsură a raportului dintre două mărimi N_1 și N_2 calculată cu relația $x_{dB} = 20 \log N_2/N_1$.
Valoare eficace (RMS)	rădăcina medie pătrată (Root Mean Square) a amplitudinii semnalului, măsurată într-un interval de timp dat (T)
Signatură	set de caracteristici specifice ale emisiei acustice care pot fi asociate unei surse de emisie acustică (particularitățile emisiei acustice care sunt determinate de sursă și care, prin interpretare, pot conduce la caracterizarea sursei sau chiar la identificarea acesteia).
Localizare	determinarea poziției spațiale a unei surse de emisie acustică prin măsurarea timpului în care unda acustică ajunge la senzori.
Unde Rayleigh	unde de suprafață, numite astfel după numele fizicianului care le-a descoperit și studiat, derivă din undele transversale atunci când unghiul de incidență depășește al doilea

	Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006	
	unghi critic. Adâncimea de pătrundere a undelor de suprafață este aproximativ egală cu o lungime de undă.	
Unde Lamb	formă de propagare a undelor ultrasonice în care undele sunt ghidate de două suprafețe paralele ale obiectului testat. Într-un obiect suficient de subțire – cu grosimea de ordinul de mărime al lungimii de undă – undele Rayleigh se transformă în unde Lamb simetrice sau asimetrice.	
Atenuare	pierderea de energie a undelor ultrasonore pe măsura pătrunderii în materialul examinat determinată de: absorbție și împrăștiere. Atenuarea este definită printr-un coeficient liniar, exprimat în dB/m.	

Bazele fizice ale controlului prin emisie acustică

În ceea ce privește studiul materialelor în vederea detectării defectelor de tip discontinuități, sursele de emisie acustică pot fi grupate în două categorii: surse macroscopice și surse microscopice.

Mecanismele macroscopice ale emisie acustice:

- Deformarea plastică – este o sursă principală de emisie acustică la materialele metalice supuse unei anumite solicitări. Începerea fenomenului de deformare plastică, la limita sau aproape de limita de curgere, generează un nivel ridicat de emisie acustică. Emisia cea mai mare se produce la atingerea limitei de curgere a materialului.

Efectul Kaiser – la solicitarea unei structuri cu o anumită sarcină se produce o emisie acustică. Dacă, după întreruperea solicitării se reia încărcarea, o nouă emisie acustică se va produce numai după ce se depășește nivelul inițial de solicitare. Efectul Kaiser apare în cazul examinării materialelor metalice și nu apare în cazul materialelor compozite (fig. 3.8).

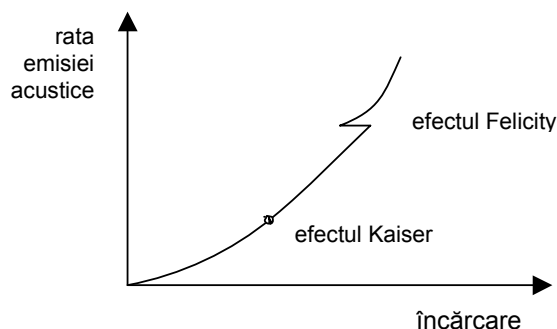


Fig. 3.8. Efectul Kaiser și efectul Felicity

Efectul Felicity se manifestă numai la anumite categorii de materiale, cum ar fi materialele compozite și constă în apariția unei emisii acustice semnificative la un nivel de solicitare mai ridicat decât cel anterior (fig. 3.8).

- Propagarea unei fisuri – în timpul aplicării unei sarcini monoton crescătoare sau în cazul aplicării unei sarcini ciclice. Detectarea timpurie a propagării fisurii este importantă pentru prevenirea unui defect catastrofal, mai ales în cazul structurilor metalice supuse unei încărcări ciclice.

Fisurarea se produce fie în timpul aplicării unei sarcini monoton crescătoare și, în acest caz, se observă fisurări ductile sau prin fragilizare, fie prin aplicarea unei sarcini ciclice, în acest caz fisurarea producându-se prin oboseală. Mecanismele de fisurare sunt multiple și complicate. Într-o probă fisurată, observarea EA este legată de deformarea plastică a materialului la vârful fisurii datorită unei creșteri a nivelului tensiunii dincolo de limita de curgere.

EA este foarte utilă pentru detectarea începerii propagării fisurii în materialele obosite și îmbătrânite din cauza condițiilor de lucru.

Principalele direcții actuale de cercetare experimentală și teoretică au ca obiectiv găsirea corelațiilor dintre emisia acustică și durata de viață a materialului

- Ruperea – în cazul în care solicitarea depășește o anumită tensiune, maxim admisă, propagarea fisurii conduce la ruperea materialului sau structurii solicitate. Experimental s-a stabilit că EA are loc în punctul de sfârșit al liniarității pe curba deplasare-sarcină, precum și în punctul în care încep deformările și contracțiile plastice la vârful fisurii.

În general, mecanismele macroscopice ale emisiei acustice prevalează în raport cu sursele microscopice de EA.

Mecanismele microscopice ale emisiei acustice

- Deformarea cristalelor – deplasarea dislocațiilor

Dintre imperfecțiunile rețelelor cristaline ale materialelor metalice, cele mai importante din punctul de vedere al comportării acestora sub acțiunea unei solicitări mecanice, sunt dislocațiile – anomalii de dispunere a unor plane cristaline (dislocații marginale, dislocații elicoidale). Dislocațiile apar în cristalele reale în timpul solidificării și răcirii ulterioare, ca o consecință a distorsiunilor locale ale rețelei, determinate de contactul grăuntelui în timpul creșterii sale, cu diferite obstacole: alți grăunți, incluziuni, pereții recipientului sau ca efect al acumulării la un loc a unui număr mare de vacanțe (atomi lipsă în nodurile rețelei cristaline).

Prezența unei dislocații într-un cristal provoacă deformarea elastică a rețelei cristaline din vecinătatea dislocației. O rețea cristalină cu dislocații are o energie mai mare

decât aceeași rețea fără dislocații. Din această cauză dislocațiile se pot deplasa cu ușurință prin cristale producând deformarea plastică.

- Microruperea prin clivaj – alunecarea straturilor.

Microruperea prin clivaj este un mecanism de rupere în materiale aflate sub temperatura de tranziție ductil-fragil. Multe materiale ceramice, metale refractare și oțeluri feritice se distrug în acest mod la temperatura ambiantă. În materialele compozite în care fibrele ceramice, whiskers-urile sau particulele sunt încorporate în scopul ranforsării unei matrici ductile, deteriorarea apare frecvent ca urmare a clivajului.

Microfisurarea prin clivaj apare în plane cristalografice specifice. La solicitări reduse, microfisurile de clivaj se propagă cel mult până la limita grăunților cristalini datorită probabilității mici ca planele de alunecare ale grăunților adiacenți să fie orientate optim în raport cu direcția de solicitare.

- Microruperea intergranulară – la limitele de grăunți.

În multe aliaje folosite în tehnică, limitele grăunților cristalini reprezintă o zonă slabă care se deteriorează înaintea grăunților propriu-ziși. Această lipsă de rezistență este asociată frecvent cu segregarea compușilor chimici fragili la interfața sau cu formarea fazelor fragile la limita grăunților. După germinarea unei fisuri intergranulare propagarea acesteia se poate produce rapid pe distanțe considerabile.

Ruperea intergranulară manifestată în sisteme fragile este adesea o sursă importantă de emisie acustică detectabilă. Viteza de fisurare este apropiată de cea de la clivaj în timp ce intensitatea emisiei acustice este de 20..100 de ori mai mare față de cea posibilă la clivaj. În compozite, delaminarea fibrelor poate fi legată de ruperea intergranulară atunci când decoeziunea interfeței este mecanismul de bază al propagării fisurii. Decoeziunile și clivajul sunt două dintre procesele principale de acumulare a deteriorărilor în materiale compozite, ambele ușor detectabile prin analiza emisie acustice, ceea ce explică aplicabilitatea largă a monitorizării prin EA folosită la producerea acestor materiale.

- Microruperea particulelor, incluziunilor – ruperea unor incluziuni și precipitate fragile la temperatura ambiantă.

Generarea EA de către acești constituenți microstructurali depinde de proprietățile intrinseci ale incluziunilor respective, de rezistența interfețelor și de dimensiunile particulelor.

- Schimbări microscopice de fază. Transformări în stare solidă.

Transformarea în stare solidă determină aproape întotdeauna dezvoltarea unor tensiuni interne datorate densității, diferențelor de contracție termică între diferite faze ale aliajului. În mod obișnuit, sursele potențiale de EA în cazul transformării în stare solidă includ dezvoltarea câmpului de tensiuni, a microruperilor, microplasticității și alte mecanisme prin care câmpul de tensiuni se relaxează.

Caracterizarea semnalelor de emisie acustică

Caracterizarea semnalelor de emisie acustică are ca scop identificarea surselor și evaluarea semnificației lor. Obiectul unei încercări de emisie acustică este acela de a detecta prezența surselor de emisie și de a oferi cât mai multe informații despre aceste surse. Modalitățile de detectare și localizare a surselor este deja bine stabilită, iar semnalele de emisie acustică pot oferi o mare cantitate de informații despre sursa și materialul sau structura investigată.

În caracterizarea sursei există un aspect cantitativ – identificarea și unul calitativ – determinarea intensității sau pericolozității sursei.

Semnalele de emisie acustică sunt influențate de: tipul sursei, drumul parcurs de la sursă la senzor, caracteristicile senzorului, sistemul de măsurare. Din cauza dificultăților de descriere a semnalelor caracterizarea surselor este adeseori dificilă. Informația este extrasă prin diverse metode, pornind de la simpla măsurare a parametrilor unde până la metode care folosesc inteligența artificială (tehnici de recunoaștere a modelului).

Tipuri de semnale de emisie acustică

Emisia poate fi sub formă discretă sau sub formă continuă. Aceste două tipuri se întâlnesc rar complet separate unul de celălalt, ele fiind de cele mai multe ori suprapuse sau combinate.

- Emisia discretă (fig. 3.9a) este acel tip de emisie la care amplitudinea semnalelor depășește, în general, cu mult zgomotul de fond, iar durata lor este foarte scurtă: de la câteva microsecunde la câteva milisecunde. În cazul acestui tip de emisie semnalele individuale sunt foarte bine separate în timp unul față de celălalt și cresc rapid până la amplitudinea maximă, scăzând apoi exponențial până la nivelul zgomotului de fond;
- Emisia continuă (fig. 3.9b) este emisia la care semnalele, în general de amplitudini relativ mici, se derulează într-o succesiune atât de rapidă, încât nu pot fi deosebite unele de altele.

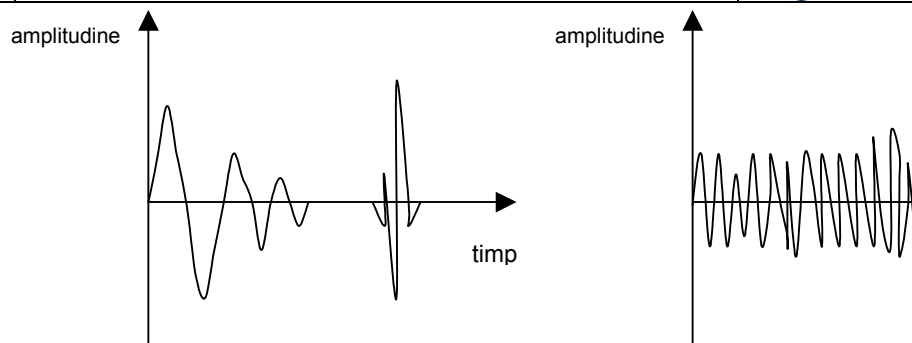


Fig. 3.9. Tipuri de semnale de emisie acustică:

a - emisie discretă; b - emisie continuă

În fig. 3.10 este prezentată schema celor două tipuri de semnale.

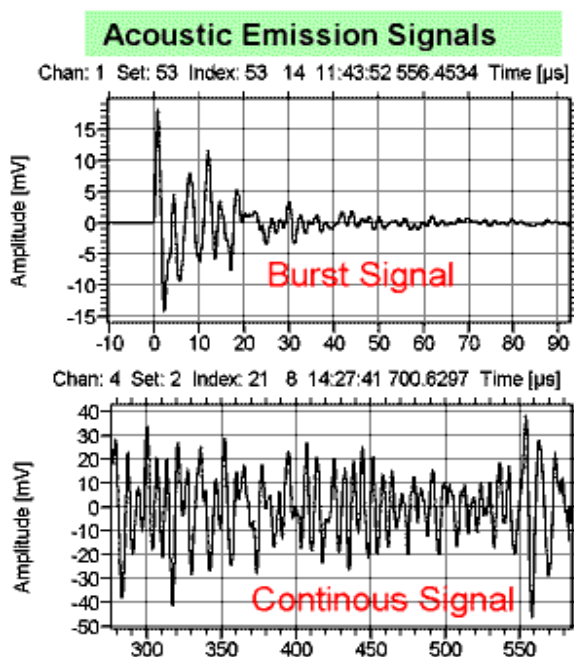


Fig. 3.10. Semnale tip salvă (discrete) și semnale de tip continuu.

Semnalele izolate cu succesiune rapidă sunt caracteristice propagării fisurilor și transformărilor de fază. Aceste semnale reprezintă evenimente discrete, individuale, ce se succed rapid, la intervale neregulate.

Semnalele continue apar, de obicei, în timpul deformării când se emit impulsuri acustice cu amplitudine mică, într-o succesiune atât de rapidă încât dau impresia unei emisii acustice continue.

Între semnalul produs de sursă și cel care ajunge la sistemul de prelucrare este o foarte mare deosebire, datorită în mare măsură propagării undei în materialul controlat, reflexiei, atenuării, amortizării și caracteristicilor traductorului acustic.

Evenimentele de emisie acustică generează semnale discrete sau continue. Impulsurile reprezintă numărul de cazuri în care un semnal depășește un prag dat.

Pragul reprezintă un nivel de referință față de care se analizează celelalte semnale. Amplitudinea semnalului poate fi legată de intensitatea activității sursei care a produs unda. Măsurarea amplitudinii maxime se realizează în general cu acuratețe cu ajutorul unui amplificator logaritm.

Măsurarea emisie acustice

Pentru măsurarea emisie acustice se folosesc, în mod obișnuit, următoarele mărimi:

- suma impulsurilor – totalitatea semnalelor care depășesc pragul;
- rata impulsurilor – numărul de impulsuri produse într-o unitate de timp, convenabil aleasă;
- energia emisie acustice.

Sisteme de captare, culegere și prelucrare a semnalelor acustice

Pentru a putea fi interpretate semnalele de emisie acustică necesită un lanț de subsisteme, aparate sau dispozitive care au rolul principal de a separa partea utilă a semnalului provenită de la surse “interesante” din punctul de vedere al controlului nedistructiv de zgomotul de fond, produs de mediul înconjurător sau de fenomene care nu fac obiectul examinării. În acest scop semnalele sunt filtrate într-o bandă de frecvență convenabilă, amplificate, digitizate, numărate etc.

Sistemele de culegere și prelucrare a datelor, folosite în controlul prin emisie acustică sunt grupate, după numărul de captori utilizați, în două categorii:

- sisteme unicanal – cu un singur captor;
- sisteme multicanal – cu mai mulți captori (patru până la peste o sută).

Sistemul unicanal (fig. 3.11)

Obiectul examinat este supus unei solicitări care determină apariția emisie acustice.

Undele ultrasonore, produse de sursă se propagă prin material. Preluate de către captor aceste semnale acustice sunt transformate de către traductorul din interiorul captorului într-un semnal electric care este transmis unui preamplificator. Acesta din urmă amplifică semnalul înaintea transmiterii lui mai departe, pentru a obține cel mai bun raport semnal/zgomot (amplificare de 20...60 dB).

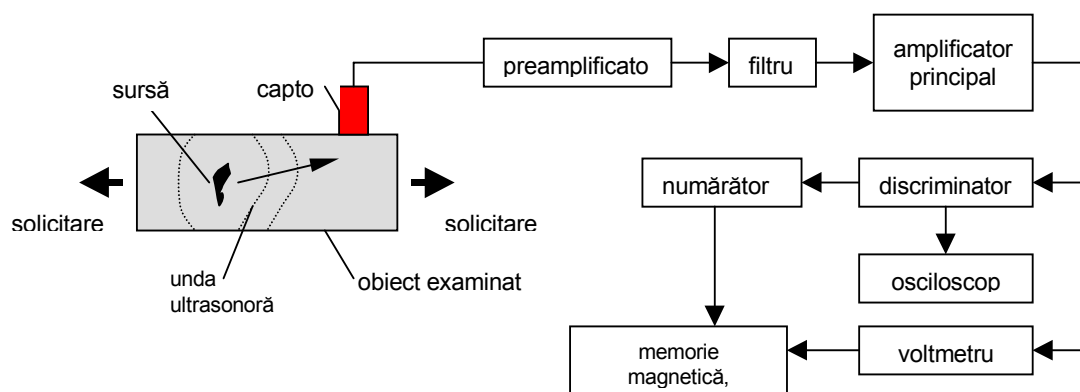


Fig. 3.11. Schema bloc a unui sistem unicanal

Filtrul de frecvență elimină zgomotele provenite din mediul înconjurător (de la motoare, angrenaje, pompe, curgeri de fluide, vibrații de produse de câmpuri electromagnetice etc.). Semnalul filtrat este din nou amplificat și transmis mai departe unui discriminator care prelucrează convenabil semnalele amplificate astfel încât să poată fi numărate sau transmise unui osciloscop.

Semnalele pot fi măsurate cu un voltmetru amplasat direct după amplificatorul principal sau pot fi înregistrate sau vizualizate prin intermediul unei imprimante.

Sistemul unicanal (cu un singur senzor) permite detectarea, înregistrarea și măsurarea emisiei acustice fără să poată fi localizată sursa care a produs-o.

Sistemul cu un singur captor este folosit în acele situații practice în care nu este necesară localizarea sursei fie datorită faptului că locația sursei este cunoscută (de exemplu, deschiderea unui contact sau deschiderea unei supape de siguranță ca urmare a depășirii unui nivel de presiune prestabilit), fie datorită faptului că examinarea este exclusiv calitativă și localizarea nu este necesară (momentul în care se realizează transformarea martensitică).

Sistemul multicanal

Pentru localizarea surselor de emisie acustică sunt necesari mai mulți captori (fig. 3.12). Sistemele multicanal se utilizează în următoarele situații:

- Pentru localizarea surselor de emisie acustică, pe baza diferenței dintre timpul de sosire a undelor la fiecare traductor în parte, deoarece sursele nu sunt poziționate la distanțe egale față de traductori.
- Pentru tratarea în mod diferit a aceluiași semnal, în scopul de a obține noi informații despre sursa care l-a produs.

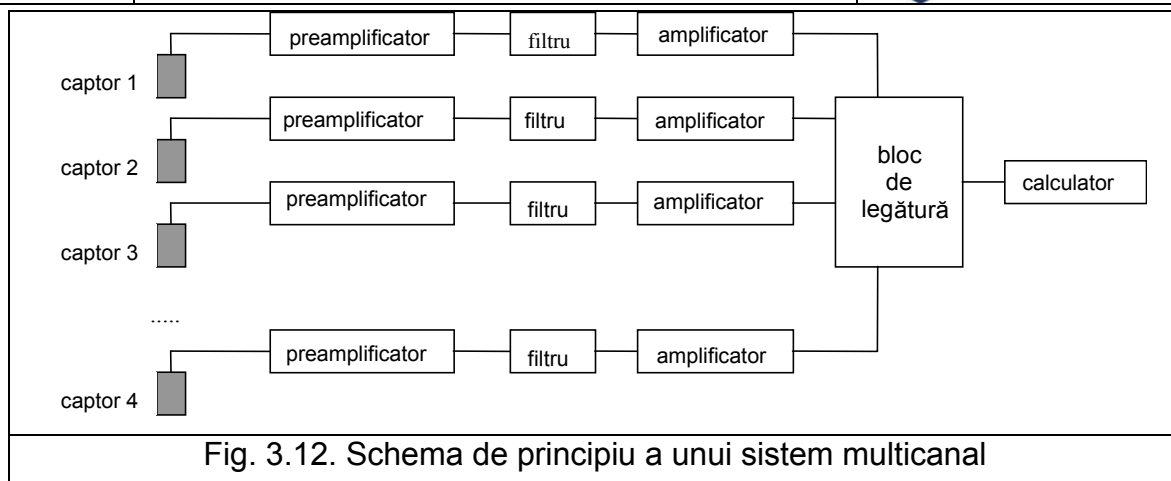


Fig. 3.12. Schema de principiu a unui sistem multicanal

Uneori, traductorii nu pot fi montați direct pe piesa sau materialul de controlat (piesa prelucrată se poate afla într-un mediu neizolat electric, activ din punct de vedere chimic sau la temperaturi foarte mari), între piesă și traductor se interpune o piesă sau un ansamblu care poartă numele de *ghid de undă* și care are rolul de a conduce undele de emisie acustică de la piesă la traductor, izolând în același timp traductorul.

Ghidurile de undă au forme și construcții diverse, în funcție de aplicația căreia îi sunt dedicate.

Stadiul actual al utilizării emisiei acustice în tehnică

În ultimii ani, controlul prin analiza emisiei acustice a căpătat o dezvoltare puternică datorită progreselor spectaculoase înregistrate în electronică și în tehnica de calcul.

În momentul de față, controlul prin emisie acustică se aplică în următoarele situații:

⇒ *ca metodă de control nedistructiv*, la stabilirea nivelului calității unor produse, și anume:

- caracterizarea comportamentului materialelor metalice și nemetalice în cazul unor solicitări mecanice, termice, chimice;
- caracterizarea materialelor compozite;
- caracterizarea îmbinărilor lipite;
- stabilirea nivelului de calitate al cusăturilor sudate;

⇒ *la supravegherea proceselor de fabricare*, ca de exemplu:

- controlul proceselor de fabricare a materialelor;
- controlul proceselor de prelucrare a materialelor;

⇒ *la supravegherea proceselor de exploatare*, ca de exemplu:

- controlul construcțiilor sudate;
- controlul recipientelor sub presiune;
- controlul aeronavelor spațiale.

Din punct de vedere principal, controlul proceselor de prelucrare prin analiza emisiei acustice se poate face pentru o mare varietate de materiale: metalice, nemetalice (materiale plastice, beton, materiale ceramice etc), compozite etc.

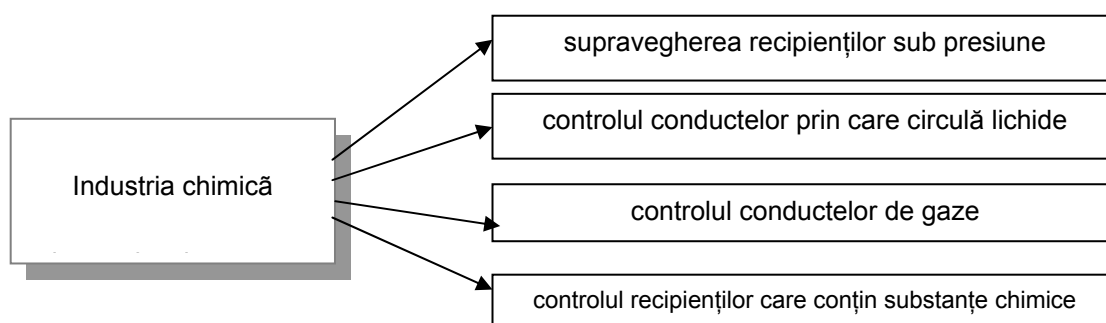
În țara noastră s-a folosit până în prezent analiza emisiei acustice în următoarele situații:

- la analiza nedistructivă a structurilor metalice;
- la controlul îmbinărilor sudate;
- în scopul caracterizării materialelor compozite cu matrice metalică.

În centrele de cercetare importante din lume, se observă următoarele tendințe legate de analiza emisiei acustice:

- punerea la punct a unor modele matematice care să lege parametrii emisiei acustice de fenomenele care au loc în interiorul materialului solicitat;
- găsirea unor soluții practice privind creșterea gradului de certitudine privind decodificarea semnalelor de emisie acustică;
- optimizarea parametrilor procesului de prelucrare prin înregistrarea emisiei acustice;
- diminuarea influenței zgomotului de fond și a altor factori perturbatori care alterează semnalul util;
- alegerea optimă a parametrilor emisiei acustice ce pot fi monitorizați în scopul îmbunătățirii procesului de prelucrare;
- perfecționarea aparaturii de emisie acustică, proiectarea unor captori performanți;
- studiul complementarității monitorizării prin analiza emisiei acustice cu alte metode de examinare nedistructivă (de exemplu termografiere în infraroșu) pentru creșterea volumului de informații utile și deci a nivelului de încredere.

În momentul de față, emisia acustică se folosește în numeroase domenii tehnice, așa cum se poate observa din fig. 3.13.



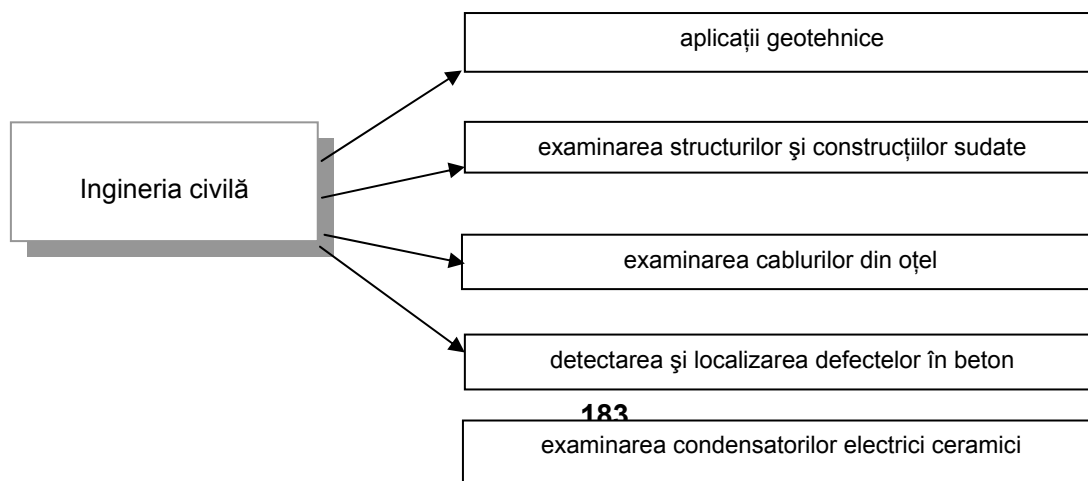
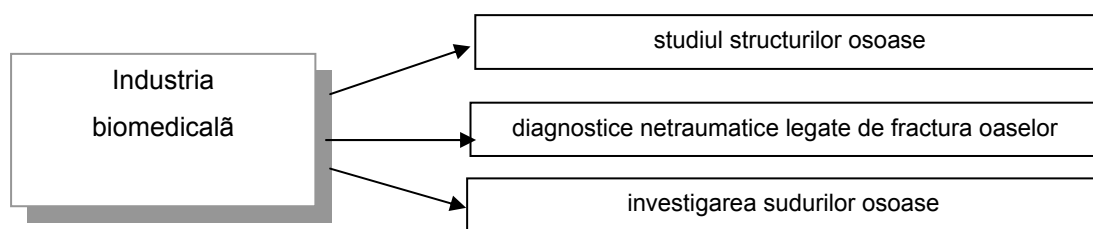
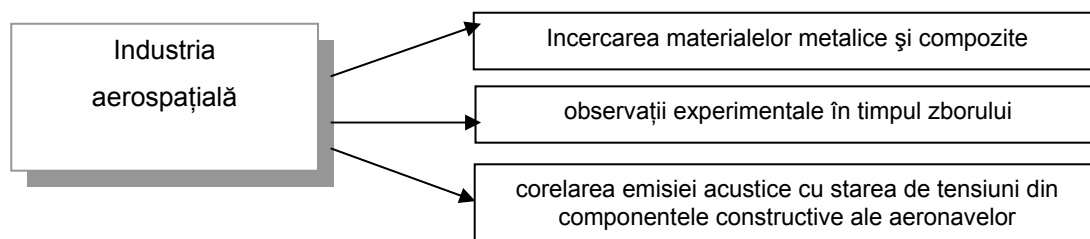
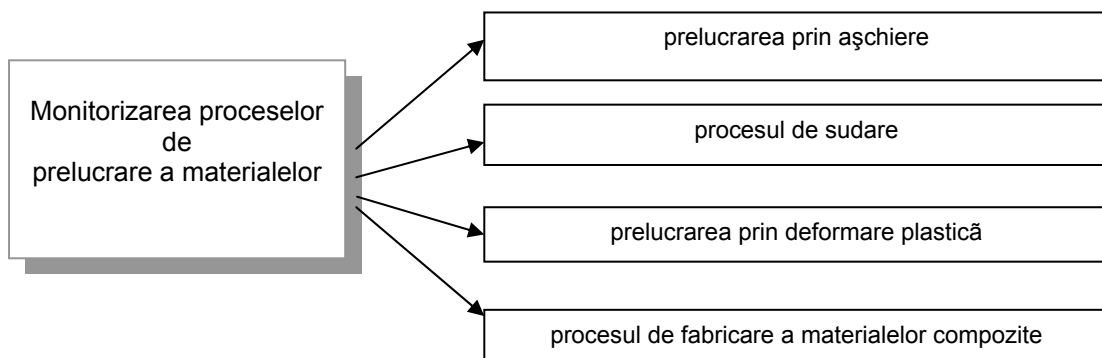
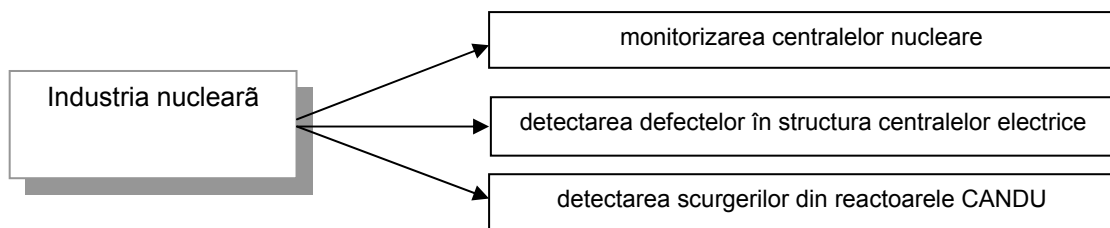


Fig. 3.13. Aplicații ale emisiei acustice în tehnică

3.4. Examinarea cu lichide penetrante

Noțiuni generale. Terminologie

Capilaritate - capacitatea unor lichide de a pătrunde în cavități mici sau în fisuri.

Metode capilare - metode de examinare bazate pe fenomenul de capilaritate (exemplu: examinarea cu lichide penetrante).

- Presiunea capilară, adică presiunea hidrostatică a unei coloane de lichid aflată în echilibru într-un spațiu capilar se determină cu relația:

$$p_c = h\rho g$$

în care: h - înălțimea coloanei de lichid;

ρ - densitatea lichidului;

g - accelerația gravitațională.

- Înălțimea h a coloanei de lichid rezultă din legea lui Jurin:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{b\rho g}$$

în care: σ - coeficientul de tensiune superficială a lichidului;

θ - unghiul de udare, pentru starea de echilibru;

b - deschiderea (lățimea) discontinuității.

- Introducând h în prima relația se obține:

$$p_c = \frac{2\sigma \cos \theta}{b\rho g}$$

care arată că, alături de caracteristicile lichidului, un rol important îl are starea de curățenie a suprafeței controlate. Discontinuitățile cu deschidere mică asigură o presiune capilară ridicată, ceea ce explică marea sensibilitate a metodei de examinare (fig. 3.14).

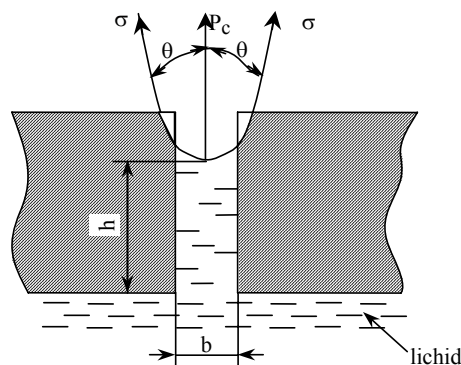


Fig. 3.14. Ridicarea lichidului într-un spațiu capilar.

Penetrant - lichid având proprietatea de a pătrunde în cavitățile, fisurile etc., de pe suprafața unui material și de a rămâne în ele în timpul îndepărtării excesului de penetrant. Cantitatea și viteza cu care penetrantul pătrunde în discontinuități depinde de tensiunea superficială, coeziunea, adeziunea și vâscozitatea sa, precum și de temperatura și starea suprafeței materialului și a interiorului discontinuității. Sinonim: lichid penetrant.

- Penetranții pot fi:
 - colorați;
 - fluorescenți;
 - micști (colorați + fluorescenți).

Developant - material absorbant, aplicat pe suprafața controlată, după îndepărtarea excesului de penetrant, în scopul extragerii penetrantului din discontinuități și a formării unui fond contrastant cu penetrantul. Principalele substanțe folosite ca developanți: caolinul, talcul, zeolitul, oxidul de magneziu, creta, au toate culoare albă.

- Developanții pot fi:
 - uscați (pulbere uscată);
 - umezi (pulbere în suspensie pe bază de apă, alcool, acetonă etc.).

Set de lichide penetrante - totalitatea substanțelor care permit efectuarea unei examinări cu lichide penetrante, livrate unitar de către producător. El se compune din cel puțin două elemente: penetrantul și developantul, cărora, de obicei, li se adaugă un degresant.

Examinare cu lichide penetrante - succesiune de operații în care se folosește un set de lichide penetrante, într-o anumită ordine, în vederea detectării discontinuităților superficiale deschise (fig. 3.15).

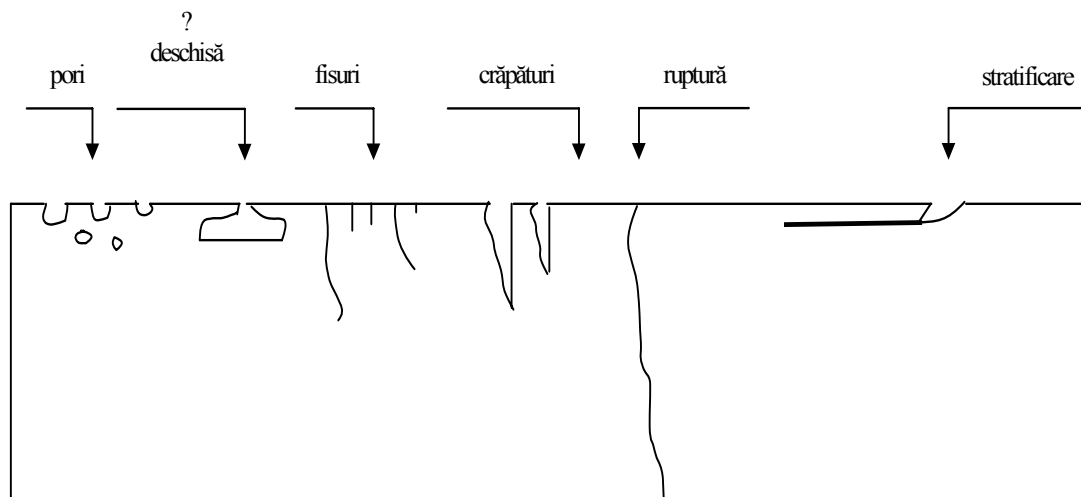
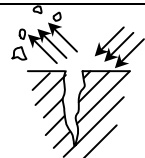
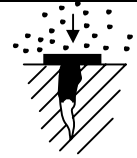
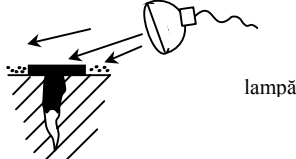
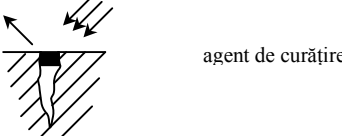


Fig. 3.15. Discontinuități de suprafață detectabile.

Operațiile, necesare efectuării examinării cu lichide penetrante, sunt prezentate în tabelul 3.5.

Tabelul 3.5. Etapele examinării cu lichide penetrante

Nr.crt.	Operația	Schita
1	Curățirea suprafeței	 agent de curățire
2	Penetrarea	 penetrant
3	Îndepărtarea excesului	 agent intermediar
4	Uscarea suprafeței	 sursă de căldură
5	Developarea	 developant

	Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006		
6	Examinarea		
7	Interpretarea		
8	Curățirea finală		

3.5. Metode de examinare cu lichide penetrante

În practică se folosesc frecvent două metode de bază ale controlului cu lichide penetrante:

- **metoda colorării**, la care penetrantul este un lichid colorat (de obicei roșu), iar examinarea se face în lumină albă, obișnuită. Indicațiile de defect apar ca pete de culoare roșie pe fondul alb al developantului.
- **metoda fluorescenței**, la care penetrantul este un lichid fluorescent, iar examinarea se face în lumină ultravioletă, într-o cameră întunecată. Indicațiile de defect apar ca pete luminoase (de obicei galben-verzui) pe fondul închis al developantului (în mod obișnuit de culoare indigo, ca urmare a folosirii unui filtru la lampa de radiații ultraviolete).

Observație: Se pot folosi și penetranți colorați având și proprietatea de fluorescență.

Metoda respectivă, a colorării și fluorescenței, îmbină particularitățile celor două metode de bază.

Tehnologia examinării cu lichide penetrante

Modul în care se efectuează examinarea cu lichide penetrante este descris în standardul STAS 10214-84 care descrie pe larg operațiile 1° ... 8°, enumerate anterior.

1°. Curățirea suprafeței are drept scop îndepărtarea murdăriei, oxizilor și, în special, a substanțelor grase de pe suprafață, astfel încât să se asigure pătrunderea penetrantului în cavitățile discontinuităților.

- Această operație este esențială pentru reușita examinării.
- Se pot folosi acele metode de curățire care nu conduc la obturarea discontinuităților:
 - curățirea mecanică cu perii de sârmă moale;

- spălarea cu apă, preferabil caldă;
- spălarea cu solvenți organici (benzen, acetonă, benzină ușoară, white-spirit, tetraclorură de carbon, tricloretilenă etc);
- spălarea cu soluții de detergenți;
- decaparea chimică;
- curățirea cu ultrasunete;
- curățirea cu vapori de solvenți etc.

Observație: nu se recomandă examinarea cu lichide penetrante a unor suprafețe a căror rugozitate depășește valoarea $Ra > 1,5 \mu m$.

2°. Penetrarea

- Aplicarea penetrantului pe suprafața controlată se poate face prin: pensulare, stropire, pulverizare, imersie.
- Stratul de penetrant va fi depus uniform într-un strat subțire și va fi menținut un timp, astfel încât lichidul să poată pătrunde cât mai adânc în cavitatea discontinuităților. Se pot folosi recomandările producătorului setului de lichide penetrante, sau valorile recomandate de standard (tabelul 3.6).

Tabelul 3.6. Recomandarile standardelor

Material	Produsul controlat	Tipul defectelor	Timpul de penetrare în minute (valori medii pentru temperaturi de 16 ... 32 ° C)	
			Penetranți solubili în apă	Penetranți solubili în solvenți organici
Oțel	Piese turnate	cute, pori	30	10
	Piese forjate sau extrudate	suprapuneri	60	10
	Îmbinări sudate	pori, nepătrunderi	60	20
	Toate produsele	fisuri	30	20
Aluminiu	Piese turnate	cute, pori	5 – 15	5
	Piese forjate sau extrudate	suprapuneri	30	10
	Îmbinări sudate	pori, nepătrunderi	30	10
	Toate produsele	fisuri	30	10
Magneziu	Piese turnate	cute, pori	15	5
	Piese forjate sau extrudate	suprapuneri	30	10
	Îmbinări sudate	pori, nepătrunderi	30	10
	Toate produsele	fisuri	30	10
Aliaje Cu-Zn și Cu-Sn (alame și bronz)	Piese turnate	cute, pori	10	5
	Piese forjate sau extrudate	suprapuneri	30	10
	Îmbinări sudate sau lipite	pori, nepătrunderi	15	10
	Toate produsele	fisuri	30	10
Titan	toate produsele	fisuri	5 – 30	20 - 30

3°. Îndepărtarea excesului de penetrant

După scurgerea timpului de penetrare excesul de penetrant se înlătură cât mai bine de pe suprafața de controlat; în urma acestei operații trebuie să rămână penetrant numai în cavitățile discontinuităților. Modalitatea de înlăturare a excesului de penetrant depinde de natura acestuia și, implicit, de natura agenților intermediari (solvenți) folosiți pentru îndepărtarea lui.

- Dacă penetrantul este solubil în apă excesul de penetrant se poate îndepărta prin clătire sau stropire cu jet de apă (temperatura 15 ... 50 ° C, cu condiția de a nu depăși punctul de fierbere al penetrantului, presiunea sub 2,5 bar) și ștergere cu tampoane din materiale textile, fără scame.
- Penetrantul solubil în solvent organic se îndepărtează în două etape:
 - se îndepărtează cât se poate de mult penetrant prin ștergerea suprafeței cu o pânză curată și uscată;
 - ștergerea cu un tampon îmbibat în solvent, apoi cu un tampon uscat.
- Operația de îndepărtare a excesului de penetrant continuă până la dispariția fondului colorat sau fluorescent, evitându-se însă spălarea excesivă.

4°. Uscarea suprafeței

Imediat după îndepărtarea excesului de penetrant suprafața supusă examinării se usucă prin unul sau mai multe din următoarele procedee:

- ștergere;
- evaporare naturală;
- evaporare forțată sub acțiunea aerului la o temperatură maximă de 50 ° C, dar mai mică decât temperatura de fierbere a penetrantului.
- Suprafața se consideră uscată în momentul dispariției petelor de umezeală.
- Se va evita uscarea excesivă.

5°. Developarea

Această operație constă în depunerea pe suprafață a unui strat subțire și uniform de developant, capabil să extragă din cavitățile discontinuităților, penetrantul rămas după operația precedentă.

- Developanții uscați se aplică prin pulverizare sau prin introducerea piesei într-o cameră cu atmosferă de pulbere controlată. După scoatere piesa se scutură ușor de excesul de developant.

- Developanții umezi se agită pentru a se produce amestecarea suspensiei și se aplică prin pulverizare sau prin imersarea piesei în suspensie.
- Developantul trebuie să acopere suprafața uniform, stratul fiind subțire, fără depozite de pulbere care pot masca discontinuitățile fine.
- Timpul de developare se măsoară din momentul uscării complete a developantului aplicat. El este cuprins între 7 ... 30 minute și de regulă este egal cu timpul de penetrare:

$$t_d = (0,5 \dots 1) t_p$$

6°. Examinarea suprafeței

- Suprafețele controlate cu penetranți coloranți se examinează la lumină naturală sau artificială cu un flux de minimum 500 lx. Acest flux luminos poate fi asigurat de o lampă cu incandescență de 100 W la o distanță de 0,2 m sau un tub fluorescent de 80 W la o distanță de 1 m.
- Suprafețele controlate cu penetranți fluorescenți se examinează în incinte întunecate folosind lămpi ce emit radiații ultraviolete în domeniul de 330 ... 390 nm.
- Suprafețele se iluminează astfel încât să nu se producă umbre sau reflexii. Unghiul dintre normala la suprafață și direcția de examinare nu va depăși 30°.
- Pentru a decala indicații care se pot contopi datorită difuziei excesive a penetrantului în developant, se recomandă ca examinarea să se facă din momentul aplicării developantului, continuându-se apoi la diferite intervale de timp, înainte și după scurgerea timpului minim de developare.

7°. Interpretarea rezultatelor

- Prezența unei cantități evidente de penetrant pe fondul developantului se numește indicație. Ea poate fi:
 - o pată de culoare roșie pe fond alb - la metoda colorării;
 - o pată luminoasă (de obicei galben, galben-verzui) pe fondul închis al developantului (de obicei de culoare indigo, ca urmare a folosirii unui filtru indigo-violet la lampa de radiații ultraviolete).
- În funcție de concludența lor indicațiile pot fi:
 - indicație relevantă, care poate fi asociată prezenței unei discontinuități;

- indicație nerelevantă, provocată de o altă cauză decât prezența unei discontinuități, de obicei unei tehnici operatorii incorecte sau configurației geometrice a piesei de controlat (sinonim: indicație falsă);
- indicație neconcludentă, pe baza căreia nu se poate stabili cauza care a produs-o.

În afara petelor de culoare sau lumină clare, se consideră ca fiind indicații și tentele de culoare, reprezentând pete difuze pe o suprafață relativ întinsă a suprafeței (de exemplu, cea provenind de la grupări de pori mici).

Indicațiile relevante se interpretează luând în considerație configurația lor, locul de amplasare pe suprafața piesei și evoluția lor pe durata dezvoltării (examinarea se va face de câteva ori la intervale de timp începând de la 1 minut și continuând cu 5,15 și 30 minute. Evoluția în timp a indicației poate oferi date asupra deschiderii discontinuității și mărimii cavității acestuia).

Se pot adăuga informațiile legate de natura materialului și tehnologia de obținere a piesei.

- Se recomandă îndepărtarea dezvoltantului din locurile unde au apărut indicații și examinarea vizuală a zonelor respective folosindu-se o lupă.
- În cazul apariției indicațiilor neconcludente, suprafața sau porțiunea de suprafață se supune din nou examinării, cu repetarea tuturor fazelor, folosind același tip de penetrant și aceeași tehnică de lucru.
- Pentru luarea deciziei A/R se apelează la un criteriu de acceptare/respingere. În anexa 5.2 este prezentat un extras din "Prescripțiile tehnice CR6-99" ale I.S.C.I.R., referitoare la examinarea cu lichide penetrante a îmbinărilor sudate ale elementelor mecanice sub presiune și instalațiilor de ridicat.

8°. Curățirea finală

Suprafața examinată se curăță de dezvoltant și penetrant prin spălare cu apă sau ștergere cu solvent, imediat ce s-a terminat procesul de examinare. Materialele folosite în examinarea cu lichide penetrante pot fi volatile, toxice și/sau inflamabile. Se vor respecta măsurile de protecție corespunzătoare și, în mod deosebit, cele indicate de producător.

Aspectul indicațiilor concludente

- *Liniare*, la care lungimea este mai mare de triplul lățimii maxime.
 - linie continuă datorită fisurilor, lipsei de topire, lipsei de pătrundere și exfolierilor;

- linie întreruptă sau punctată datorită fisurilor foarte înguste sau numai parțial străpunse la suprafața examinată precum și exfolierilor parțial acoperite în timpul prelucrărilor.
- *Rotunjite* (circulare sau eliptice), la care lungimea este mai mică sau egală cu triplul lățimii maxime.

Criterii de acceptare/respingere a discontinuităților

- Nu sunt admise discontinuități ale căror indicații sunt liniare.
- Nu sunt admise discontinuități izolate, ce dau indicații rotunjite, dacă dimensiunea maximă a indicației este mai mare de 4 mm.
- Se admit cel mult trei discontinuități cu indicații rotunjite cu dimensiunea maximă a indicației mai mică de 4 mm, situate în linie, cu condiția ca distanța dintre marginile indicațiilor să fie de cel puțin 1,5 mm, iar distanța dintre două grupuri de acest fel să fie de cel puțin 90 mm.

BIBLIOGRAFIE

Standarde

1. SR EN ISO 9000- 2001, Sisteme de management al calității PRINCIPII FUNDAMENTALE ȘI VOCABULAR,
2. ASTM E 1316 - 1992 Terminology for Nondestructive Examination.
3. ASTM E 1213 – 1992 Standard Test Method for Minimum Resolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems.
4. SR EN 25817 - Îmbinări sudate cu arc electric - Ghid pentru nivelurile de acceptare a defectelor
5. STAS 782-79 Defectele pieselor turnate. Clasificare și terminologie.
6. STAS 6656-80 Defectele pieselor laminate, extrudate și trase din oțel. Clasificare și terminologie.
7. STAS 6092/1-83 Piese forjate din oțel. Clasificarea și terminologia defectelor.
8. STAS 6092/2-84 Piese forjate din materiale metalice neferoase. Clasificarea și terminologia defectelor.
9. STAS 7084/1-81 Defectele îmbinărilor sudate prin topire. Clasificare și terminologie.
10. STAS 7084/2-82 Defectele îmbinărilor sudate prin presiune. Clasificare și terminologie.
11. STAS 8299-78 Clasificarea și simbolizarea defectelor îmbinărilor sudate prin topire pe baza radiografiilor
12. STAS 12077-82 Defectele îmbinărilor lipite. Clasificare și terminologie.
13. STAS 10354-81 Defectele suprafețelor tăiate termic. Clasificare și terminologie.
14. xxx Manualul sistemului calității – Ghid pentru implementarea standardelor internaționale ISO 9000, Editura Tehnică, Buc., 1997.
15. xxx Nondestructive Testing Handbook, second edition: Vol.1,2,3,4,5,6,7,8,9 și 10, American Society for Nondestructive Testing, USA, 1996
16. xxx Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedures, Vol.3 Nondestructive Testing, ASTM, USA, 1997.
17. CORSEPIUS, H.W., Ultraschall-Pruftechnik fur den Praktiker, Hans Holzmann Verlag GmbH&Co KG, Bad Worishofen,, Germany, 1982
18. DEUTSCH, V., a.a., Controlul ultrasonic – Principii și aplicații industriale, traducere în lb.română, Doniga, N., ARoEND, Buc., România, 1998
19. BOHĂȚIEL, T., Defectoscopie ultrasonică fizică și tehnică, Editura Tehnică, Buc., 1980
20. PERDIJON, J., L'ecographie, Dunod, Bordas, Paris, 1981.

21. MOCANU, D.R., Incercarea Materialelor, Controlul nedistructiv al metalelor, vol. 3, Editura Tehnică, Buc., 1986.
22. SAFTA, V.I., Defectoscopie nedistructivă industrială, Editura Sudura, Timișoara, 2001.
23. QUINN, R.A., Radiography in Modern Industry, Ed.IV, Rochester, NY: Eastman Kodak Company, USA, 1980
24. STEFĂNESCU, FI., ș. a. Composite materials, U.P.B., România, 1997
25. STEFĂNESCU, FI., ș.a. Solidifications of Metallic Materials, Ed. Printech, Buc., România, 2001
26. JURAN, J.M., Juran's Quality Control Handbook, fourth edition, McGRAW-HILL, inc., Statele Unite, 1500 p., 1988.
27. SEVERIN, I., VOICU, M., Ingineria calității, Ed. Printech, Buc., România, 314 p., 2001.
28. ANTONESCU V., CONSTANTINESCU D., Managementul calității totale. OID, MCT, Buc., 127 p., 1993.
29. AMZA, Gh., DUMITRU, G.M., RANDAȘU, O.V., Tehnologia materialelor, Editura Tehnică, 467 p., Buc., 1998.
30. AMZA, Gh., RANDAȘU, O.V., DUMITRU, G.M., AMZA, C. G., Tratat de Tehnologia materialelor, Editura Academiei Române, 1582 p., Buc., 2002.
- 31.
32. MALDAGUE, X.P.V., Nondestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography, Springer Verlag, 205 p., 1993.
33. R.C. McMASTER, P. McIntire and M.L. Mester (Eds.), Non-destructive Testing Handbook: Electromagnetic testing, Vol. 4, ASNT, 1986.
34. L. de la Pintiere, Multifrequency eddy current examination of heat exchanger tubing in "Electromagnetic Methods for Non-destructive testing", Eds. W. Lord, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1985, pp. 195-303.
35. B.P.C. Rao, Baldev Raj, T. Jayakumar, P. Kalyanasundaram and W. Arnold, A New Approach for Restoration of Eddy Current Images, Journal of Non-destructive Evaluation. 20 (2001) 61-72.
36. Pradeep Ramuhalli, Electromagnetic NDE Signal Inversion by Function-Approximation Neural Network, IEEE Transactions on Magnetics, vol 38, No 6, 2002.
37. T. TAGACI and K. MIYA, ECT round-robin test for steam generator tube, J. Jpn. Soc. Appl. Electromagn. Mech., vol. 8, pp 121-128, Mar.2000.
38. Z. CHEN and K. MIYA, A new approach for optimal design of eddy current testing probes, J. Nondestr. Eval., vol.17, no.3, pp 105-116, 1998.

Articole, lucrări

39. MIHAI, A., Contribuții privind studiul termografic al îmbinărilor realizate prin lipire, Teză de doctorat, U.P.B., România, 1995
40. DIEDERICHS, R., The Advantages of the Internet in the Field of NDT , articol Internet, 2003
41. FAVRO, L.D., s.a. Thermal wave Imaging for Aging Aircraft Inspection, Materials Evaluation, 1993.
42. NETZELMANN, U., WALLE, G., DOBMAN, G., Teal-time 3D - Representation of Time-Resolved Infrared Thermographic Data, Fraunhofer Institute for NDT, 1995.
43. KLINE, A. R, Nondestructive Characterisation of Composite Media, School of Aerospace and Mechanical Engineering, Univ. Oklahoma, USA, 1992.
44. Bull, C.E., British Journal of NDT, vol.35, nr.2, UK, 1995
45. Kenzo Miya, Recent Advancement of Electromagnetic Nondestructive Inspection Technology in Japan, IEEE Transactions on Magnetics, vol 38, No 2, March 2002
46. Mihai, A., Modelarea analogica a fenomenelor termice in studiul termografic al materialelor acoperite, revista Constructia de Masini nr.1-2, anul V, Buc., 1998, p. 66-72.
47. Mihai A., Studiul influentei parametrilor geometrici asupra sensibilitatii controlului termografic, Simpozion International, Conferinta Jubiliara 25 de ani de la infiintarea ISIM Timisoara, Realizari si perspective in domeniul sudarii si constructiilor sudate, Timisoara, 24-26 mai 1995, p. 273-279.
48. D.W. Radford, Microwave nondestructive investigation of multiple impacted composite laminates, Vol V, The tenth International Conference on Composite Materials, Proceedings, Canada, Aug. 1995.
49. William L. Rollwitz, Microwave Examination, Vol V, The tenth International Conference on Composite, USA, 1998
50. Krause, M., Maierhofer, C. and H. Wiggenshauser: Thickness measurement of concrete elements using radar and ultrasonic impulse echo techniques, In: M.C. Forde (Ed.), Proceedings of the 6th International Conference on Structural Faults and Repair, London, UK, July 1995.
51. Barrett, AH and Myers, P C (1986), Basic Principles and Applications of Microwave Thermography, in Medical Applications of Microwave Imaging, Larsen, L E and Jacobi, pp 41-6, IEEE, UK, 1998.

52. Bar-Cohen, R. Diederichs, M. Jones, M. Onoe, International NDT technical Collaborations using the Internet. ASNT 1996 Fall Conference, http://www.ndt.net/article/www_team/asnt-www.htm.
53. R. Diederichs, Internet-Journal's marketing opportunities, UT-online No.1, January 1996, http://www.ndt.net/article/editoria/intern_e.htm
54. Baldev Raj, T. Jayakumar and B.P.C. Rao, Review of NDT techniques for structural integrity, Sadhana, Academy Proc. in Engineering Sciences. 20 (1995) 5-38.
55. R.W. Nichols, Advances in NDE for structural integrity, Applied Science Publishers, London, 1982.
56. J. Blitz, Electrical and Magnetic Methods for Non-destructive Testing, Adam Hilger, Bristol, 2000.
57. D.J. Lovejoy, Magnetic Particle Inspection: A practical guide, Chapman & Hall, 1993.
58. J.S. Borucki, Development of Automated Magnetic Particle Testing Systems, Materials Evaluation. 49 (1991) 324-329.
59. W. Lord, Electromagnetic methods of NDT, Gordon and Breach, New York, 1985.
L. Clapham and D.L. Atherton, "Magnetic flux leakage inspection of oil and gas pipelines", J. of Non-destructive Evaluation (ISNT), 20 (2000) 40-45.
60. V.S. Cecco V.S, G. Van Drunnen and F.L. Sharp, Eddy current manual : test method, Vol.1, AECL-7523, Chalk River, Ontario, November, 1981.

Pagini web

61. R. Diederichs, NDT resources on NDTnet <http://www.ndt.net/library/library.htm>
62. Trougott Koch, Browsing and searching Internet resources, http://www.ub2.lu.se/nav_menu.html
63. Nondestructive Evaluation at SwRI, <http://www.nde.swri.edu/index.html>
64. NTIAC, <http://www.ntiac.com>
65. Center for Nondestructive Evaluation at Iowa State University, <http://www.cnede.iastate.edu/>
66. IzfP Fraunhofer-Institut for NDT, <http://mm.fhg.de/depts/izfp-e.html>
67. European Networks for Structural Integrity, <http://science.jrc.nl/www/jrc/iam/sci-unit/networks/networks.html>
68. DGZfP: German NDT Society, <http://www.dgzfp.de>
69. British Institute for NDT, <http://www.powertech.co.uk/bindt/>
70. The Canadian Society for Nondestructive Testing, <http://www.csndt.org/>
71. The NASA Technical Report Server, <http://techreports.larc.nasa.gov/cgi-bin/NTRS>
72. Panametrics, <http://www.panametrics.com>
73. Krautkramer, <http://www.krautkramer.com>
74. IRT - Inspection Research Technology, <http://www.irt.co.il>
75. Qnet, <http://www.qnetworld.com>

Metode de încărcare prin sudare a aliajelor neferoase de tip CuNiAl

CAP. IV. METODE DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE A ALIAJELOR NEFEROASE DE TIP CuNiAl - SUDOTIM

Încărcarea pieselor prin sudare se folosesc în scopul depunerii de material pentru compensarea uzărilor, a recuperării pieselor cu fisuri, crăpături sau spărturi, pentru îmbinarea unor piese rupte sau a elementelor componente ale unor structuri din materiale neferoase sau bimetale .

Aceste procedee au următoarele avantaje:

- nu necesită utilaje complexe, costisitoare, complicate.
- straturile depuse prin sudare pot avea grosimi variabile.
- operațiile pregătitoare ale suprafețelor nu sunt complicate, de cele mai multe ori, reducându-se la simple spălări și degresări
- sunt productive, eficiente și au un cost redus, putându-se mecaniza și automatiza.
- pot fi recondiționate piese care înglobează o mare valoare de manoperă și material cum sunt elicele navale turnate din bronzuri de tip CuNiAl .

În comparație cu alte procedee de depunere de straturi antiuzură, procedeele prin sudare prezintă următoarele dezavantaje:

- stratul depus este neuniform, cu denivelări crescând volumul prelucrărilor mecanice ulterioare.
- temperaturile ridicate realizate în cusături în timpul sudării modifică structura materialului de bază al piesei, de aceea, după recondiționare, acestea vor fi supuse unor tratamente termice ceea ce impune noi cheltuieli de energie și forță de muncă.

Procedeele de depunere prin sudare și încărcare cu aliaje de tip CuNiAl se clasifică conform fig 4.1.

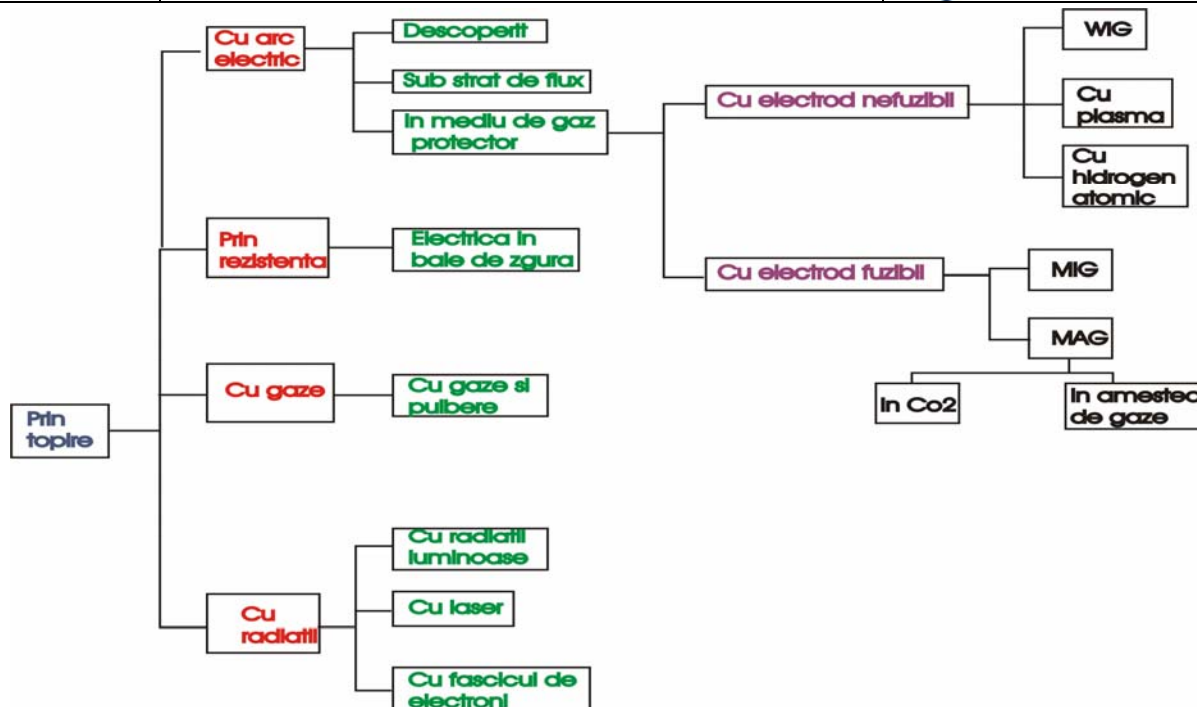


Fig.4.1. Clasificarea procedeelor de încărcare prin sudare prin topire.

În continuare vom descrie mai pe larg următoarele procedee de încărcare prin sudare cu aliaje de tip CuNiAl:

- Incărcarea prin sudare cu arc electric și electrozi înveliți și tubulari.
- Incărcarea prin sudare WIG.
- Incărcarea prin sudare MIG, MAG.
- Incărcarea prin sudare și încărcare cu flacără oxigaz.

4.1 ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE CU ARC ELECTRIC CU ELECTROZI ÎNVELIȚI ȘI TUBULARI

4.1.1 Principii de bază

În timp ce priceperea de a suda este bine cunoscută și apreciată, arta încărcării prin sudare este mai puțin apreciată și cunoscută, iar folosirea ei ca metodă de protejare împotriva uzării ar putea fi mult îmbunătățită. În mare se poate spune că deși ambele procese au la bază același procedeu, tehnologia fiecăruia este intrinsec diferită.

Principiul sudării cu arcul electric cu electrozi înveliți este prezentat în fig.4.2.

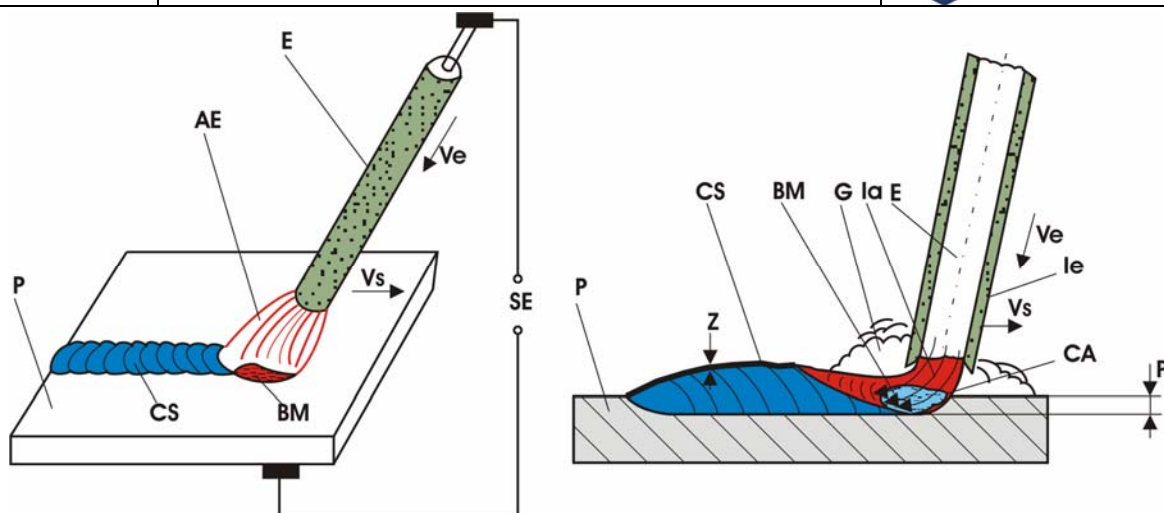


Fig.4.2. Modul de desfășurare a sudării cu arcul electric

a) Schema de principiu la sudare cu electrozi înveliți;

b) Secțiune transversală cu vederea arcului, craterului, electrodului și piesei.

AE-arcul electric; SE-sursa de energie electrică; E-electrod; IE-învelișul electrodului; P-piesa; BM-baia metalică; CS-cusătura; Z-zgura; G-gazele degajate; CA-craterul arcului; l_a -lungimea arcului; v_e -viteza de înaintare a electrodului; v_s -viteza de sudare; p -pătrunderea.

Arcul electric AE, alimentat de la o sursă de energie electrică SE, este amorsat între un electrod E și piesa metalică P, care urmează să fie sudată sau încărcată prin sudare. În arcul electric se produce o căldură concentrată și o temperatură suficient de mare care topește vergeaua electrodului și suprafața piesei. Se realizează astfel o baie metalică BM, în care se amestecă metalul topit al electrodului și metalul topit din piesă. Prin solidificarea băii metalice rezultă cusătura CS, care este acoperită cu un strat de zgură Z, rezultat din topirea învelișului IE, al electrodului. Pe măsură ce se topește electrodul, el trebuie să înainteze în spațiul arcului electric cu viteza v_e astfel încât lungimea arcului l_a , să rămână constantă. Pentru a realiza cusătura sau depunerea, simultan cu viteza de înaintare a electrodului v_e , arcul electric trebuie să înainteze pe suprafața piesei cu viteza v_s , numită viteză de sudare.

Sudura sau încărcarea realizate prin oricare procedeu de sudare cu arc electric au următoarele părți principale componente: cusătura sau stratul depus (metalul depus) MD; zona influențată termic ZIT și metalul de bază MB. În figura 4.3 sunt prezentate două probe reprezentative: una de îmbinare sudată (a) și una de încărcare prin sudare (b).

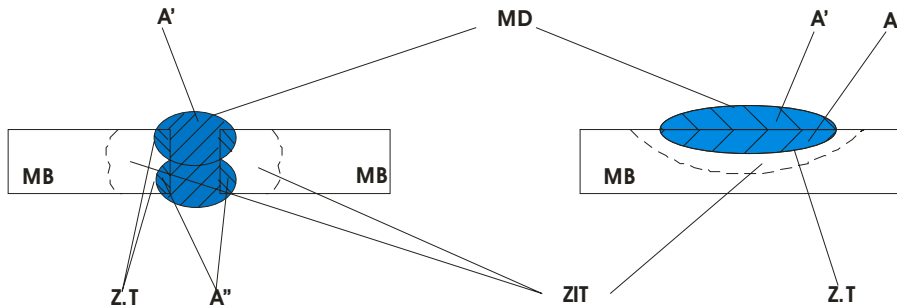


Fig.4.3 Probă de îmbinare sudată (a) și probă de încărcare(b).

MD-metal depus: cusătură(a); strat depus sau depunere(b)

ZIT-zonă influențată termic; MB-metal de bază.

- Cusătura (depunerea în cazul încărcării) este partea din sudură ce rezultă prin cristalizarea băii metalice. Baia metalică este un amestec de metal topit din materialul de adaos (MA) care poate fi electrod sau sârmă, și metalul topit din marginile componentelor îmbinării sau piesei de încărcat (MB). Datorită dimensiunilor mici ale băii metalice și a agitației puternice la care ea este supusă în timpul procesului de sudare, se poate considera că se realizează un amestec omogen între MA și MB. Ca urmare compoziția chimică a cusăturii/depunerii va fi diferită de cea a MA și de cea a MB.

Calculul compoziției chimice a cusăturii/depunerii se poate face dacă se cunosc participările MA și MB la formarea cusăturii/depunerii.

$$P_{MB} = \frac{A''}{A} = \frac{A''}{A' + A''} \quad P_{MA} = \frac{A'}{A} = \frac{A'}{A' + A''}$$

Unde: A' - secțiunea datorată MA;

A'' - secțiunea datorată MA; A - secțiunea cusăturii (depunerii), conform fig.2.4

Sunt evidente relațiile: $A = A' + A''$

$$P_{MA} + P_{MB} = 1$$

Participările P_{MA} și P_{MB} depinde de procedeul de sudare sau încărcare, de forma și dimensiunile rostului și de parametrii de sudare; P_{MA} și P_{MB} au un rol important la estimarea eficienței procedurii de sudare. În tabelul 4.1 sunt date, orientativ, valorile lui P_{MA} și P_{MB} pentru diferite forme ale rostului:

Tabelul 4.1.

Forma rostului	P_{MA}	P_{MB}
I	0,5	0,5
V	0,7	0,3
U	0,8-0,9	0,2-0,1

La îmbinări sudate, se are în vedere realizarea unei piese din două sau mai multe componente componente, este rațional să se folosească în cusătură cât mai puțin MA și cât mai mult MB; adică este bine ca raportul P_{MA}/P_{MB} să fie cât mai mic

La încărcare, unde se are în vedere acoperirea piesei cu un strat rezistent la uzare, este rațional ca raportul P_{MA}/P_{MB} să fie cât mai mare; adică participarea P_{MB} să fie cât mai mică. În mod uzual P_{MB} mai poartă denumirea de diluție.

Cunoscând diluția, se poate calcula compoziția chimică a cusăturii/depunerii. Astfel conținutul unui element M din cusătură va fi:

$$M_{Cus} = (1 - d)(\alpha M_{MB1} + \beta M_{MB2}) + d M_{MA}$$

în care: d- diluția; M_{Cus} și M_{MB} - concentrațiile elementului M în cusătură și metalele de bază MB1 și MB2; α și β -participările relative ale celor două metale de bază la formarea cusăturii ($\alpha + \beta = 1$ de regulă $\alpha = \beta = 0,5$).

- Zona influențată termic (ZIT) aparține MB; în această zonă au loc transformări structurale din cauza ciclurilor termice determinate de temperatura din baia metalică.
- Metalul de bază (MB), care urmează sub ZIT, nu este afectat de căldura băii metalice, decât în mică măsură, în imediata apropiere a ZIT-ului, unde au loc detensionări, reveniri și recristalizări; la distanțe mai mari de ZIT se ajunge la zone în care MB se află în starea în care a fost livrat.

Din cauza fenomenelor diferite ce au loc în cusătură, ZIT și MB cracteristicile fizice și mecanice diferă de la un loc la altul, ceea ce face ca sudura să fie eterogenă din punct de vedere chimic, structural și comportamental.

4.1.2 Diluția și pătrunderea

Diluția poate fi definită ca o schimbare a compoziției chimice MA prin amestecarea cu MB ca urmare a pătrunderii sudurii în MB.

Se cunoaște că scopul sudurii este de a îmbina două piese printr-o sudură omogenă care să difere cât se poate de puțin de MB din care sunt realizate piesele. Pentru aceasta sudorul alege un electrod de sudare care asigură un MD cu o compoziție chimică similară sau apropiată de a MB.

Pe de altă parte, încărcarea sau sudarea de încărcare are ca scop depunere pe suprafața unei piese a unui aliaj cu o compoziție chimică și proprietăți mult diferite de ale MB din care este realizată piesa. În acest scop sudorul alege un electrod de încărcare cu o compoziție chimică diferită de a MB.

Sudura convențională ideală trebuie să prezinte o diferență foarte mică pe suprafața

transversală între MD și MB. În schimb, secțiunea transversală a MD în cazul încărcării, trebuie să prezinte, în mod ideal, o tranziție bine definită între MD și MB. Succesul acestui deziderat depinde de priceperea sudorului în a compensa gradul de topire a rădăcinii, necesar unei bune adeziuni, cu nivelul de pătrundere a metalului de bază.

La sudare și încărcare sunt aplicate două reguli empirice simple:

- cu cât este mai mare nivelul de pătrundere al sudurii în MB, cu atât este mai mare diluția aliajului depus;

- cu cât este mai mare diluția, cu atât este mai nefavorabil efectul asupra proprietăților de rezistență la uzare a stratului depus.

Diluția este influențată de procedeele de încărcare prin sudare, tipul materialelor de adaos, tipul învelișului, forma și dimensiunile materialelor de adaos (ex. electrozi cu vergea plină sau cu vergea tubulară), diametrul, parametrii de sudare, numărul de straturi și grosimea stratului depus.

Dintre parametrii de sudare, care influențează pătrunderea, respectiv diluția, cei mai importanți sunt: curentul de sudare și viteza de avans a electrodului. Cel din urmă poate fi perfecționat prin experiența sudorului, dar primul depinde de dimensiunea și tipul electrodului și aici se pot face îmbunătățiri considerabile. Acest aspect poate fi pus în evidență făcând o comparație între sudarea și încărcarea cu electrozi (convenționali) cu vergea plină și cu electrozi tubulari (cu vergea tubulară). Efectul asupra procesului de sudare de îmbinare este nesemnificativ, exceptând faptul că pentru același diametru, curenții de sudare sunt semnificativ mai mici în cazul electrozilor cu vergea tubulară. În tabelul 4.2. sunt prezentate, comparativ, valorile medii ale curenților de sudare în [A], pentru diferite diametre ale electrozilor tubulari și ale electrozilor convenționali.

Tabelul 4.2. Valori medii ale curentului de sudare I_s , în A, în funcție de tipul și diametrul electrozilor

Tipul de		Diametrul electrozilor [mm]						
electrozi	2,5	3,25	4,0	4,8(5,0)	6,4(6,0)	8,0	11,0/12,0	
Electrozi		80	100	110	140	160	230/280	
tubulari	-							
Electrozi	70	100	140	200	310	-	-	
convenționali								
ali								

În cazul încărcării prin sudare sau sudării de încărcare aceste valori mai mici ale

curentului de sudare influențează foarte mult eficiența încărcării. Tendința folosirii unor curenți mai mari de sudare conduce la o diluție mai mare a aliajului, respectiv la obținerea unei rezistențe mici la uzare, pentru o compoziție de aliaj dată. De-a lungul timpului acest aspect a fost compensat printr-o supra-aliere a aliajului de încărcare utilizat, ceea ce a condus la creșterea prețului. În acest context, avantajele reale pe care le oferă electrozii tubulari la încărcare, i-au adus în actualitate, după o perioadă în care au fost într-un relativ con de umbră.

Orientativ, în tabelul 4.3. sunt date valori ale diluției pentru cele mai importante procedee de încărcare prin sudare, în funcție de numărul de straturi și grosimea depunerii.

Tabelul 4.3. Valorile diluției (%) pentru cele mai importante procedee de încărcare prin sudare, în funcție de numărul de straturi și grosimea depunerii

Procedeul de încărcare	Gradul de diluție [%]	Nr. De straturi	Grosimea depunerii [mm]
1.Încărcarea cu electrozi înveliți:			
-cu vergea plină și înveliș acid/bazic	15-25/20- 30	2-4	6-10
-cu vergea tubulară și înveliș grafitic.	5-15	1-3	3-6
2. Încărcarea sub flux.		2-4	6-8
3.Placarea sub flux (cu bandă).	30-40	1-3	4-10
4.Încărcare WIG	30-40		
5.Încărcarea MIG		1-3	3-6
6.Încărcare cu plasmă	2-20	2-5	6
7.Metalizarea cu sârmă	10-60		
8.Încărcarea cu flacăra și sârmă.	5-10	1	3
		1	0,1-1,5
	0		
		1-3	3
	2-20		

4.1.3 Particularități ale suprafețelor obținute prin încărcare

Performanțele materialelor sunt determinate de natura, compoziția și dispersia fazelor, de cantitatea și distribuția constituenților structurali și de mărimea grăuntelui cristalin.

Suprafața pieselor este eterogenă din punctul de vedere al caracteristicilor fizico-chimice. Pe acest fond se manifestă solicitările din exploatare și tensiunile reziduale. Eterogenitățile chimice și structurale asociate cu defectele specifice ce pot apărea la solicitarea procedeului de sudare (fisuri, goluri etc.), cu solicitările complexe din exploatare și cu tensiunile reziduale, datorită sudurii, generează în piesele încărcate tensiuni complexe triaxiale.

Eterogenitatea chimică a pieselor încărcate este generată în procesul de sudare. Ea este determinată de diferențele care există între compozițiile chimice ale MB și MA, de proprietățile termofizice ale acestora, de concepția constructivă, de tipul depunerii și de puterea sursei termice utilizate.

Eterogenitatea structurală însoțește în mod obișnuit pe cea chimică, dar poate să apară și din cauza unor procese deosebite de încălzire-răcire ale anumitor zone ale pieselor încărcate.

Proprietățile zonei intermediare de trecere (ZT) sunt determinate de procesele de cristalizare și difuzie ce au loc între MA și MB. În timpul acestora există posibilitatea de apariție dinspre metalul de bază a unor structuri de cristalizare și difuzie care determină prezența în zona de trecere a unor straturi cu proprietăți și compoziție chimică diferită de a componentelor respective. Aceste fenomene, care influențează compatibilitatea materialelor la încărcare prin sudare și deci proprietățile piesei încărcate se manifestă în zonele caracteristice ale structurii bimetalice, depunerea (MD), zona influențată termic (ZIT), metalul de bază (MB) (fig.2.4), în special la nivelul zonei de trecere sau la nivelul suprafețelor de separație.

Se remarcă faptul că structura și proprietățile zonei de trecere (ZT) sunt mult diferite față de cele ale MA și MB, dacă acestea sunt din clase structurale distincte și apropiate dacă sunt din aceeași clasă. Se menționează că ele depind de asemenea, de natura materialului în care are loc procesul de difuzie și de natura difuzantului. Amplasarea proceselor de difuzie depinde de temperatură și de timpul de menținere, cauză pentru care în anumite condiții de exploatare straturile se dezvoltă iar proprietățile acestora se modifică, astfel încât se poate ajunge la fragilitatea zonei de trecere și implicit la reducerea capacității portante a acesteia.

Eterogenitățile structurale apar și se manifestă în mod pregnant în zona influențată

termic.

Fenomenele menționate anterior nu sunt singulare. Ele se asociază fenomenelor de îmbătrânire diferențiată a MA și MB și de modificare a stării inițiale a pieselor încărcate.

Din prezentarea aspectelor fenomenologice, de mai sus, rezultă faptul că alegerea judicioasă a materialelor din componența pieselor încărcate precum și tehnologia de execuție a acestora au o influență hotărâtoare asupra nivelului calitativ și de eficiență pe care îl putem obține în condițiile realizării industriale a pieselor încărcate.

4.1.4 Alegerea materialelor pentru încărcarea prin sudare

În practica încărcării prin sudare, alegerea materialelor de adaos este o problemă la care trebuie avute în vedere două aspecte importante și anume:

- aspectul tehnologic, care se referă la compatibilitatea la sudare a MB cu MA,
- aspectul economic, prin care se are în vedere eficiența încărcării.

În domeniul fabricării pieselor noi și recondiționarea pieselor uzate prin încărcare, una din condițiile de bază care trebuie analizate este cea a utilizării unor tehnologii și materile de adaos alese pe criterii raționale, în care de cele mai multe ori trebuie ținut seama și de aspectele economice. În general pentru alegerea corectă a materialelor pentru încărcare trebuie parcurse următoarele etape:

- stabilirea tipului de uzare și solicitările la care este supusă piesa;
- stabilirea condițiilor tehnice de calitate minime impuse piesei;
- proiectarea constructivă a încărcării prin sudare;
- stabilirea caracteristicilor pentru MB și MA,
- verificarea compatibilității la sudare a MB cu MA
- verificarea comportării în exploatare a piesei încărcate,
- analiza aspectelor economice.

În cazul recondiționărilor de piese (uzate), MB este cunoscut și proiectantul alege MA adecvat din punct de vedere al compatibilității la sudare și al comportării la tipurile de uzare și solicitări impuse.

În cazul pieselor noi este necesar elaborarea unui cuplu MB-MA în așa fel încât în final, pe ansamblul rezultat să se obțină caracteristicile de rezistență la solicitări mecanice și de uzare optime. La alegerea MB se au în vedere caracteristicile de rezistență mecanice, iar la alegerea MA se au în vedere comportarea (rezistența) uzarea și justificarea din punct de vedere economic.

Procesul de încărcare cu materiale de adaos cu proprietăți speciale și rezultatul acestuia este influențat în mare măsură de cunoașterea în detaliu a cerințelor de

exploatare și a caracteristicilor fizico-chimice, tehnologice și economice ale materialelor implicate. Marea majoritate a producătorilor oferă date tehnice suficiente despre materialele utilizate la încărcare și indicații/ recomandări de utilizare pentru diferite tipuri specifice.

4.1.5 Tehnologii pentru încărcare prin sudare cu arc electric cu electrozi înveliți.

Cunoștințele acumulate până în prezent, în domeniul încărcării prin sudare permite abordarea sistemică a modului de elaborare a tehnologiei de încărcare. Această modalitate de rezolvare a problemei implică cercetarea de ansamblu a fenomenelor de uzare în corelație cu posibilitățile de combatere eficientă a acestora prin protejarea suprafețelor de contact ale pieselor cu materiale cu proprietăți adecvate scopului urmărit.

Se cunoaște că între caracteristicile metalului depus prin sudare și structura acestuia există o legătură directă, în baza căreia pentru un anumit domeniu concret se poate stabili aliajul care asigură performanțele maxime.

La conducerea proceselor de încărcare se urmărește ca în final depunerea să conțină constituenții doriți iar aceștia să prezinte un raport optim, între cantitățile lor și o distribuție a acestora care să conducă la obținerea performanțelor proiectate. Elaborarea tehnologiilor de încărcare se face succesiv în trei etape distincte și anume:

- proiectarea tehnologiei de încărcare prin sudare;
- verificarea experimentală și omogenitatea tehnologiei elaborate;
- verificarea lotului prototip și urmărirea acestuia în condiții concrete de execuție

Fiecare etapă tehnologică este alcătuită dintr-o succesiune de secvențe (figura 4.4)

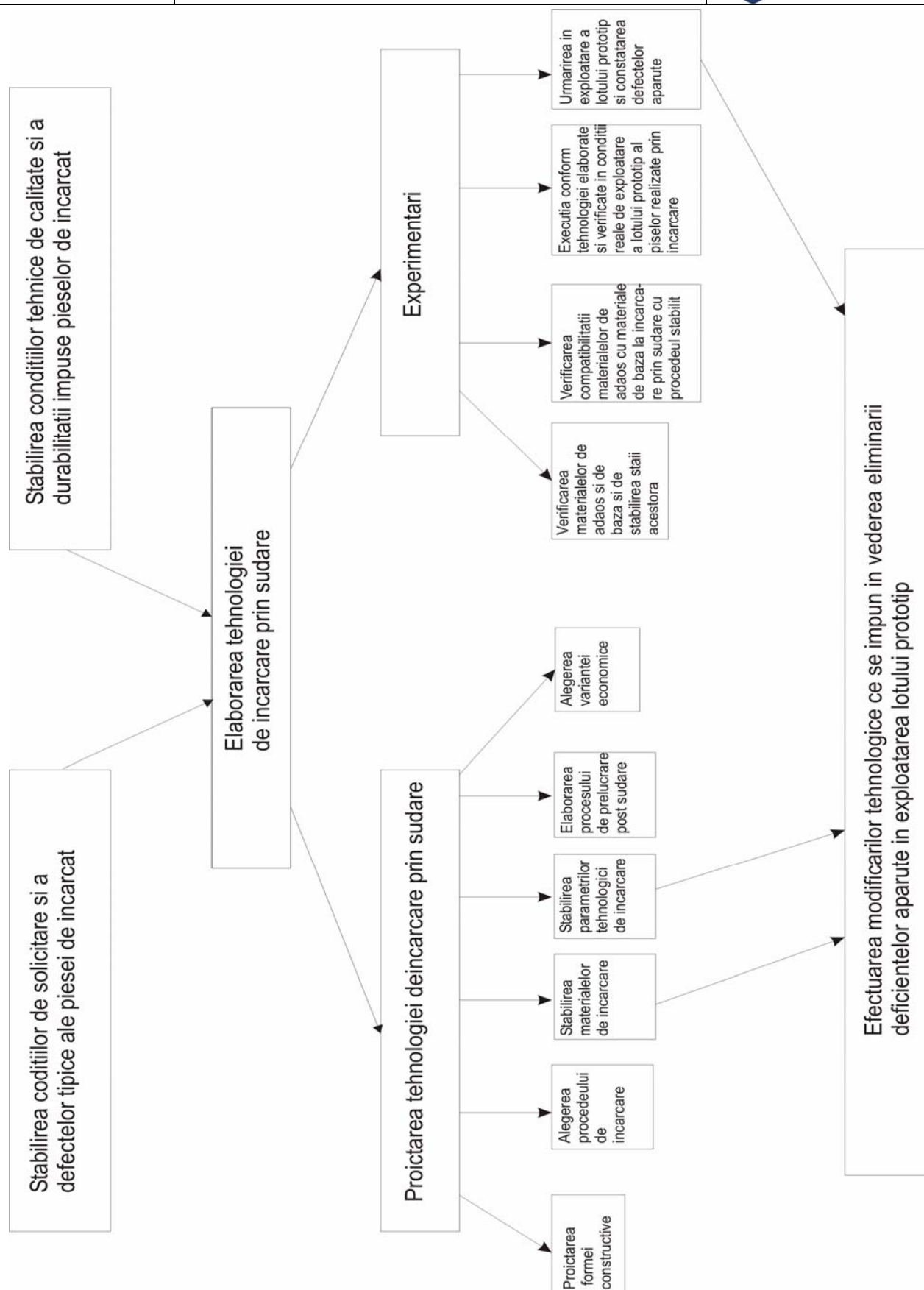


Fig 4.4. Schema bloc de elaborare a tehnologiilor de încărcare.

Detalierea procesului de elaborare a tehnologiilor de încărcare prezintă importanță teoretică deoarece permite acordarea atenției cuvenite fiecărui element în parte, începând cu stabilirea condițiilor de solicitare și terminând cu efectuarea modificărilor ce se impun în urma experimentărilor efectuate pe lotul prototip. Acest fapt conduce la o cunoaștere amănunțită și de ansamblu a posibilităților de combatere a uzării a modului de rezolvare optimă a acestei probleme.

4.1.6 Particularități conceptuale ale realizării pieselor prin încărcare cu sudură.

Fabricarea pieselor prin încărcare cu sudură, care să permită obținerea unor structuri cu caracteristici de rezistență optime și adecvate condițiilor concrete de solicitare a fiecărui tribosistem în parte, este condiționată de îndeplinirea încă din faza de proiectare a următoarelor cerințe:

- asigurarea protecției și consolidarea suprafețelor active ale pieselor încărcate;
- utilizarea unor materiale și a unor tehnologii de încărcare care să conducă la obținerea unor cupluri, metal de bază metal depus, capabile să asigure o bună rezistență la solicitările specifice condițiilor concrete de exploatare;
- stabilirea unor reglementări de întreținere și exploatare care să asigure menținerea în timp a performanțelor inițiale ale pieselor încărcate;
- elaborarea unor tehnologii simple și eficiente de remaniere a defectelor accidentale.

Pentru a veni în întâmpinarea cerințelor, proiectantul trebuie să considere că, în realitate, are de realizat un sistem eterogen, caracterizat prin modul de conlucrare a două sau a mai multor materiale, distincte, între care există o legătură rigidă la nivelul suprafețelor de separație dintre metalul depus și cel de bază și defecte specifice proceselor de încărcare prin sudare asociate cu tensiuni reziduale.

A) Proiectarea constructivă a piesei încărcate

Prin proiectarea constructivă, urmărindu-se protecția și consolidarea suprafețelor active ale pieselor încărcate, se parcurg două etape și anume:

- proiectarea configurației geometrice a depunerii;
- stabilirea modului de pregătire a piesei în vederea încărcării.

La proiectarea configurației geometrice a depunerii se au în vedere principalele particularități ale aliajelor dure și anume o bună rezistență la compresiune și o comportare necorespunzătoare la tracțiune și forfecare. De aceea aliajele pentru încărcare trebuie aplicate în locuri solicitate la compresiune iar materialul de bază trebuie să preia solicitările de tracțiune și încovoiere.

Pentru cazul în care anumite zone ale metalului de bază sunt supuse la solicitări care depășesc limita de curgere a acestuia se poate proceda la consolidarea zonelor respective prin armare cu materiale cu proprietăți adecvate.

Prin pregătirea suprafețelor în vederea încărcării se urmărește curățirea acestora de impuritățile provenite din mediul înconjurător și profilarea lor în așa fel încât să devină un bun suport al metalului depus prin sudare și un element de preluare a solicitărilor din exploatare.

Unghiurile și adânciturile suprafețelor de încărcat se vor racorda la vârf, în așa fel, încât la sudare să nu genereze concentrări de căldură care produce topirea unor cantități suplimentare din materialul de bază, deoarece acest fenomen poate să conducă la neomogenități chimice și structurale în depunere și la introducerea unor concentratori de tensiune.

Proiectarea constructivă se face pe baza solicitărilor la care este supusă piesa, a modului de distribuire a acestora, a defectelor specifice înregistrate în condiții reale de exploatare și a procedeului de încărcare utilizat. Ea trebuie adaptată fiecărei piese în parte și fiecărui mod de solicitare. Din acest punct de vedere se disting piese ale căror suprafețe active se pot considera *uniform solicitate* și piese la care *solicitarea* suprafețelor este *diferențiată pe zone bine determinate*.

B) Capacitatea de încărcare a cuplurilor metal de bază-metal de adaos

Capacitatea de încărcare a cuplurilor metal de bază-metal de adaos este dependentă de următorii factori:

- caracteristicile și natura materialului de bază;
- caracteristicile și natura materialului de aport;
- proiectarea constructivă a pieselor încărcate;
- procedeul de încărcare utilizat;
- parametrii tehnologici de încărcare;
- tratamentele termo-fizice aplicate;
- natura și amploarea defectelor existente în depunere și la interfața metal de bază - metal depus;
- natura și intensitatea tensiunilor reziduale.

Acești factori sunt independenți, acționează în mod simultan și se manifestă sub forma unor defecte combinate. Dintre aceștia, defectele și tensiunile reziduale au tendința să diminueze capacitatea de prelucrare a solicitărilor din exploatare iar ceilalți se pot manifesta în sens pozitiv cât și negativ, funcție de modul cum este condus procedeul de

elaborare și execuție a pieselor încărcate.

Cu toate acestea, în practica curentă a fabricării pieselor încărcate se acceptă ca inevitabile defectele cele mai defavorabile și anume fisurile. Dintre acestea preponderente sunt cele la rece

Acceptarea unui anumit indice de fabricație, definit prin raportul dintre lungimea totală a fisurilor și lungimea depunerii este funcție de particularitățile fiecărei piese în parte.

Tendința de fisurare la rece a unei depuneri este influențată în principal de conținutul în constituenți duri și fragili, de conținutul în hidrogen difuzibil și de nivelul tensiunilor reziduale.

O analiză a posibilității de diminuare a defectelor de fragilizare ale depunerilor evidențiază faptul că structura nu poate fi modificată, deoarece în caz contrar se impune acceptarea unui compromis în privința durabilității pieselor încărcate. Din această cauză pentru diminuarea tendinței de fisurație a depunerilor se pot aplica numai măsuri tehnologice prin care se urmărește reducerea conținutului de hidrogen difuzibil sau în unele cazuri particulare diminuarea vitezei de răcire prin preîncălzire și reducerea nivelului tensiunilor reziduale.

4.1.7 Criterii pentru alegerea eficientă a procedeelor și a materialelor de încărcare prin sudare.

Alegerea procedeelor și a materialelor de încărcare prin sudare este o problemă de importanță majoră. În această etapă trebuie să se asigure posibilitatea de obținere a unor piese încărcate cu o eficiență cât mai ridicată din punctul de vedere al execuției, al siguranței în exploatare, al consumurilor specifice și al costurilor.

Cele două laturi ale procesului de alegere a procedeelor și de selectare a materialelor de încărcare se intercondiționează și depind de factorii tehnico-economici.

Pe plan mondial satisfacerea necesităților exprimate de beneficiar și colectarea acestora cu posibilitățile de fabricație ale producătorilor, cu cel mai înalt grad de flexibilitate, se face dinamic prin elaborarea unor tipuri de utilaje și/sau grupe de materiale specifice anumitor condiții de tip sau grupă și adaptarea acestora conform necesităților concrete din exploatare.

Alegerea procedeelor de încărcare

Procesul de alegere a procedeului de încărcare prin sudare este influențat în principal de trei grupe de factori decizionali, tehnici, economici și umani.

► Factorii tehnici sunt:

- Volumul depunerilor, apreciat ca:

mic -masa depunerii este de max.5% din masa piesei încărcate,

mediu -masa depunerii este cuprinsă între 5% și 10% din masa piesei,

mare -masa depunerii este mai mare de 10% din masa piesei încărcate.

- Configurația depunerii, apreciată ca:

simplă

complexă.

- Diluția metalului depus cu cel de bază:

limitată și redusă- pentru încărcarea cu materiale sensibile la impurificare cu elemente din MB și

fără restricții - deosebite la nivelul de diluare a MD cu MB.

- Pozițiile în care se poate face încărcarea cu procedeul respectiv, pot fi:

orizontal în jgheab, vertical în cornișă pe plafon.

- Condițiile de execuție a încărcării, care pot fi:

la temperatura specifică mediului ambiant la temperaturi de preîncălzire și între rânduri de min 250°C.

- Metalele și aliajele ce se pot încărca cu procedeul respectiv. Acest factor are caracter restrictiv, fiind dependent de materialele de încărcare din fabricația curentă.

Factorii tehnici definesc posibilitățile de execuție ale pieselor bimetalice la cerințele calitative impuse prin proiectare.

Prin analiza comparativă a procedeelor disponibile, privite prin prisma factorilor tehnici, se stabilesc soluțiile aplicabile pentru încărcarea unor serii de piese date și o ordonare orientativă a acestora în funcție de nivelurile calitative, obținute în producția industrială. Deși, în general, acești factori prezintă o importanță majoră în privința nivelului calitativ al producției, totuși în practică trebuie să se acorde o atenție deosebită diluției MA cu MB și materialelor utilizabile deoarece acestea sunt dătătoare de ton.

► Factorii economici sunt:

- Productivitatea, exprimată prin calitatea de metal depus în unitatea de timp, depinde de procedeul de sudare și de tehnologia de încărcare aplicată. Procedecele de încărcare mecanizată realizează productivități superioare. Printre acestea un loc deosebit ocupă cele cu arce multiple și sârme groase.

- Investițiile, exprimate prin cheltuieli necesare pentru dotarea cu echipamente și spații de producție. Aceste cheltuieli sunt minime în cazul încărcării prin sudare electrică manuală și cresc în cazul procedeelor de încărcare mecanizată, atât datorită utilajelor de

sudare cât și ale celor auxiliare.

- Cheltuielile de producție, exprimate prin costurile materialelor de sudare, al energiei și al manoperei. Aceste cheltuieli sunt variabile în timp și depind de situația conjuncturală a pieții.

Înfluența factorilor economici trebuie analizată prin prisma tipului de producție.

În cazul producției de unicate și serie mică este recomandabil să fie utilizate acele tehnologii care sunt aplicabile cu dotarea existentă în unitatea de producție, fără a fi necesar noi investiții. Pentru producția de serie mare sau pentru fabricația în condiții grele de muncă se recomandă utilizarea procedeelor mecanizate. Pentru a veni în întâmpinarea acestui deziderat se poate proceda la organizarea producției de tipuri de produse, realizabile prin aceeași tehnologie de încărcare prin sudare.

► Factorii umani

Sunt greu de definit cantitativ, sunt variabili în timp și deci mai greu de controlat. Totuși, trebuie să li se acorde o atenție deosebită deoarece de aceștia depinde nivelul calitativ al produselor.

Selecția procedeelor de încărcare a unei serii de fabricație date se face în trei etape și anume:

- pe baza factorilor tehnici se selectează procedeele neutilizabile de cele utilizabile iar cele din urmă se ordonează în funcție de nivelele calitative ce se pot obține;
- procedeele rămase din prima etapă se analizează din punctul de vedere al prețului de cost sau al altor condiții restrictive și se ordonează în funcție de eficiența economică de realizare a producției date la anumite niveluri calitative;
- procedeele, ordonate din punct de vedere economic, se analizează în privința cerințelor referitoare la nivelul de calificare al forței de muncă și al disponibilităților existente.

Această etapă se va finaliza cu stabilirea procedeului de încărcare prin sudare.

Criterii de alegere a materialelor de încărcare prin sudare.

În perioada actuală se impune tot mai mult ideea utilizării unor tehnologii capabile să conducă la obținerea unor piese ieftine, cu disponibilitate ridicată.

În domeniul fabricării și recondiționării prin încărcare cu sudură, una din condițiile de bază care concură la realizarea dezideratului de mai înainte, este cea a utilizării în procesul de elaborare a tehnologiei de încărcare a unor materiale optime, din punctul de vedere al scopului urmărit, de cele mai multe ori economic, alese pe baza unor criterii raționale.

Pornind de la faptul că procesul de încărcare cu straturi, cu proprietăți speciale, nu este numai un mijloc de fabricare a pieselor ci și un proces de sudare dintre cel puțin două materiale, care de cele mai multe ori sunt diferite și greu sudabile, se poate aprecia că alegerea materialelor de încărcare prin sudare prezintă cel puțin două aspecte care se intercondiționează reciproc și anume:

-aspectul tehnologic, care se referă la compatibilitatea metalului de bază cu cel de adaos și la influența parametrilor de încărcare asupra caracteristicilor piesei obținute;

-aspectul economic, prin care se apreciază efectele obținute prin încărcare.

În general, un studiu de fundamentare a alegerii materialelor de încărcare trebuie să urmărească succesiunea din fig.4.5.

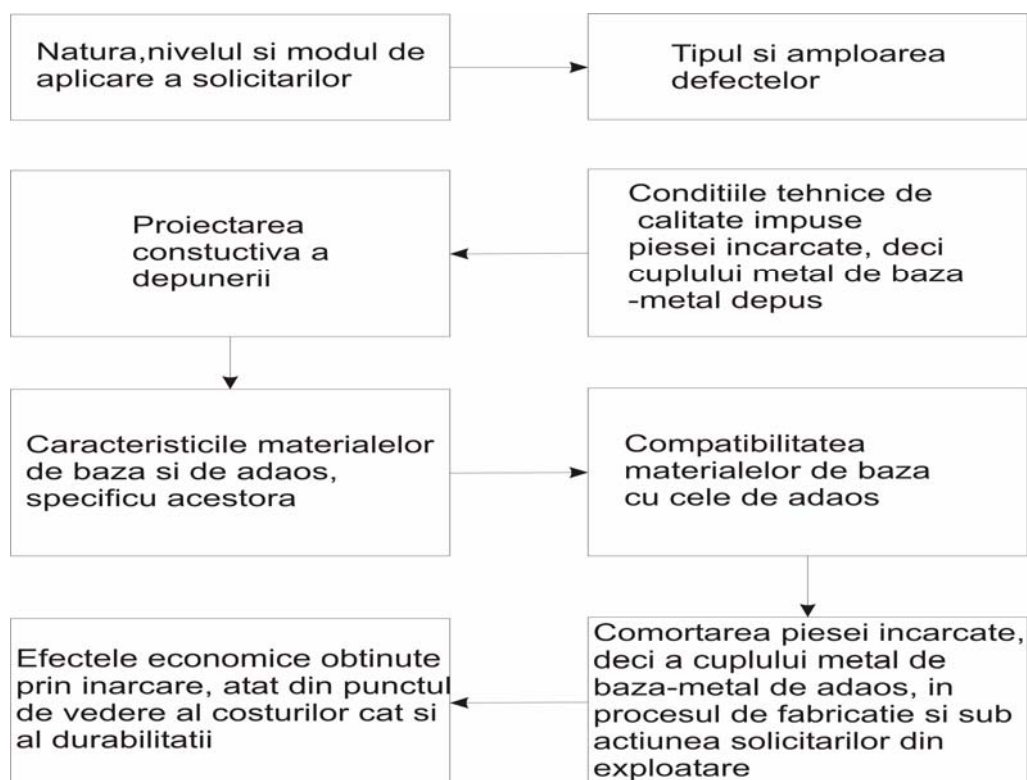


Fig.4.5 .Succesiunea factorilor care intervin la alegerea materialelor pentru încărcare.

Procesul de încărcare cu materiale cu proprietăți speciale și rezultatul acestuia este influențat în mare măsură de caracteristicile și specificul materialelor introduse în lucru. Din această cauză, pentru o selectare rațională a materialelor de adaos este necesară cunoașterea în detaliu atât a cerințelor de exploatare cât și a caracteristicilor fizico-chimice, tehnologice și economice ale materialelor utilizabile și a corelațiilor dintre ele.

Studierea elementelor menționate trebuie însă corelată și particularizată cu cele două direcții practice de desfășurare a activității de încărcare prin sudare și anume:

- remanierea defectelor** de fabricație sau de exploatare ale pieselor;
- execuția unor piese noi**, încărcate prin sudare.

În primul caz, anume cel al remanierii, materialul de bază este cunoscut atât din punctul de vedere al caracteristicilor fizico-chimice cât și al nivelului și al stării de degradare a acestuia, cerându-se proiectantului numai alegerea materialelor de încărcare.

În cazul al doilea, de execuție a pieselor noi, este necesară elaborarea cuplului metal de bază-metal de adaos, în așa fel încât în final, pe ansamblul rezultat, să se obțină, de cele mai multe ori caracteristici de rezistență la uzare egale față de solicitările concrete din exploatare.

În scopul atingerii obiectivului menținut pe plan mondial se utilizează diverse criterii de alegere a materialelor de încărcare.

4.1.8 Conducerea judicioasă a proceselor de încărcare.

Caracteristicile obținute pe un cuplu dat, ansamblu metal de bază-metal de adaos, sunt dependente de modul de desfășurare a procesului de încărcare prin sudare utilizat.

Compoziția chimică și structura depunerilor este influențată de factorii fizici (temperatura și volumul băii topite, natura reacțiilor din arcul electric, viteza de topire și răcire a metalului de bază și de adaos etc.) iar aceștia la rândul lor sunt dependenți de parametrii tehnologici de încărcare (tipul, natura și diametrul materialelor de încărcare, curentul de sudare, tensiunea arcului, viteza de sudare, parametrii operaționali, temperatura de preîncălzire și între rânduri etc.).

Din această cauză, în prima fază a procesului de elaborare a tehnologiei de încărcare prin sudare se urmărește stabilirea obiectivelor și în corelație cu aceasta elaborarea principiului de realizare a depunerii. Astfel, se va stabili structura necesară în exploatare, nivelul de fisurare acceptabil, cerințele privind stabilitatea dimensională a ansamblului piesă încărcată, cerințele privind modul de variație a caracteristicilor pe straturi, procedeele disponibile pentru prelucrare la cota finală etc.

Structura ce se poate obține pe depunerile reale, diluate, este dependentă în principal de nivelul de aliere, de viteza de răcire și de tratamentul termo-mecanic aplicat post-sudare. Nivelul de aliere este influențat de diluția metalului depus cu metalul de bază iar aceasta la rândul său este determinat de procedeul de sudare utilizat, de tipul și natura materialelor de încărcare și de parametrii tehnologici folosiți.

Viteza de răcire depinde de temperatura și volumul piesei încărcate, de temperatura și volumul băii topite, de temperatura de preîncălzire și între rânduri și de natura și caracteristicile mediului de protecție și ambiant.

Nivelul de fisurare acceptat se stabilește prin proiectare. În unele cazuri fisurile sunt considerate defecte ale pieselor încărcate și pot provoca diminuarea rezistenței la uzare sau nesatisfacerea unor cerințe funcționale, ca de exemplu la suprafețele de etanșare.

Stabilitatea dimensională a ansamblului bimetal este influențată în principal de nivelul tensiunilor reziduale și de modul de variație a acestora în timpul exploatării. Tensiunile reziduale sunt funcție de concepția constructivă a ansamblului piesă încărcată, de rigiditatea acesteia și de parametri tehnologici de încărcare. Nivelul și distribuția tensiunilor reziduale se poate modifica prin aplicarea unor tratamente termo-mecanice.

Cunoașterea modului de variație a caracteristicilor, cu numărul de straturi și a posibilităților de dirijare controlată a acestora are importanță deosebită pentru situațiile în care performanțele ansamblului sunt afectate semnificativ.

Pentru unele materiale, dirijarea caracteristicilor se poate face prin parametri tehnologici de încărcare.

Studierea posibilităților de prelucrare, la cota finită, în corelație cu mijloacele disponibile urmărește în mod deosebit trei aspecte distincte dar conjugate în cadrul ansamblului încărcat și anume:

- prelucrabilitatea metalului depus prin sudare;
- prelucrabilitatea zonei influențate termic și a zonelor constituite din metal diluat;
- prelucrabilitatea metalului de bază.

Obținerea unor structuri prelucrabile prin procedeele de productivitate ridicată este determinată de natura materialelor utilizate, de parametri tehnologici de încărcare și de tratamentele post sudare aplicate.

Analiza celor prezentate evidențiază faptul că pentru atingerea scopului propus prin proiectare este necesară o alegere judicioasă a parametrilor tehnologici de încărcare.

4.1.9 Alegerea parametrilor tehnologici de încărcare

Parametrii tehnologici de încărcare sunt: tipul, natura și diametrul materialelor de încărcare; curentul de sudare I_s ; tensiunea arcului, U_a ; viteza de sudare v_s ; temperatura de preîncălzire T_{pi} ; temperatura între rânduri; parametri operaționali.

Parametrii tehnologici

► Tipul, natura și diametrul materialelor de încărcare, I_s și U_a .

În cazul selectării procedeelor și a materialelor de încărcare se optează pentru utilizarea unui anumit tip de aliaj depus printr-un procedeu de încărcare, atabilit în mod

judicios. Acestui aliaj îi corespunde un material de încărcare bine determinat (electrod, cuplu flux-sârmă sau sârmă-gaz etc.) caracterizat prin natura protecției și tipul și natura reacțiilor din arc. Aceste caracteristici influențează atât performanțele depunerilor cât și productivitatea la încărcare.

Diametrul electrodului se stabilește în funcție de scopul urmărit, grosimea depunerii și de accesibilitatea în zona de încărcat. Pentru depuneri de grosimi reduse se recomandă utilizarea unor electrozi cu diametrul mic, care să permită obținerea dimensiunilor prescrise la o singură trecere. În cazul realizării unor depuneri cu grosime mare este preferabilă folosirea electrozilor groși, deoarece sunt mai ieftini și asigură o productivitate mai mare. Diametrul electrozilor este funcție de procedeul utilizat.

Electrozii înveliți se fabrică în mod industrial cu următoarele diametre: 1,6-2,0-2,5-3,25-4,0-5,0-6,0 mm.

Sârmele pentru încărcare prin sudare se produc cu următoarele diametre: 0,5-0,6-0,8-1,2-1,25-1,6-1,8 mm.

Diametrele sârmelor tubulare este cuprins în general între 0,8 și 2,5 mm.

Curentul de sudare (I_s) are influență directă asupra cantității de căldură furnizată de arc și ca urmare influențează volumul de metal topit. Pentru condiții identice de încărcare, la creșterea curentului de sudare crește adâncimea de pătrundere, crește diluția și se reduce lățimea rândului.

Din considerente economice este de preferat să se lucreze cu curenți mari, care permit obținerea unor productivități ridicate.

Curentul de sudare și mai ales densitatea acestuia influențează de asemenea coeficienții de trecere prin arc a elementelor de aliere. O parte dintre acestea se pot vaporiza la o temperatură prea ridicată. În unele cazuri valoarea lui I_s este limitată în așa fel încât să conducă la obținerea diluției proiectate.

Curenții utilizați depind în mare măsură de materiale folosite pentru încărcare, iar valorile acestora trebuie să se încadreze în cele recomandate de producătorii materialelor de încărcare.

În lipsa acestor recomandări curentul de sudare pentru sudarea electrică cu electrozi înveliți se poate determina cu relația:

$$I_s = (20 + 6d) \cdot d_c$$

Tensiunea arcului este proporțională cu lungimea acestuia, fiind dependentă de natura materialelor utilizate. Tensiunea mică caracterizează un arc scurt deci pătrundere

mare și lățime mică. În aceleași condiții de încărcare, cu creșterea tensiunii crește lățimea sudurii și scade adâncimea de pătrundere.

Tensiunea arcului U_a , în V, are o variație definită în general prin relația:

$$U_a = a + b L_a$$

În care: a și b sunt constante, care depind de materialele de sudare utilizate; L_a este lungimea arcului.

► Temperatura de preîncălzire.

Piesele încărcate sunt un ansamblu în care participă de cele mai multe ori două componente distincte din punctul de vedere al compoziției chimice și anume depunerea și materialul de bază. Acest fapt are repercursiuni asupra coeficientului de dilatare și a punctelor critice de transformare, care pot să difere esențial în timpul proceselor de încălzire-răcire și să genereze, la nivelul ansamblului bimetalic, tensiuni tranzitorii sau remanente, care ating uneori valori periculoase ce pot produce fisurarea la rece sau chiar exfolierea depunerilor.

Una din metodele frecvente de reducere a susceptibilității la fisurare a structurilor încărcate este preîncălzirea componentelor. Nivelul și modul de aplicare ale preîncălzirii este influențat printre altele de numărul, lungimea, natura și distribuția fisurilor acceptate. Nivelul de fisurare acceptat este una din condițiile tehnice de calitate ale pieselor încărcate, fiind stabilit la proiectare. Temperatura minimă de preîncălzire (T_{pi}) se alege în așa fel încât susceptibilitatea la fisurare a piesei încărcate să fie mai mică sau cel mult egală cu cea admisă prin proiectare.

Stabilirea temperaturii de preîncălzire este o problemă complexă, dependentă de mai mulți factori. În general, T_{pi} se stabilește experimental pe piese reale, prin tatonări succesive. În unele cazuri particulare temperatura de preîncălzire a fiecărui material conținut de piesa încărcată (T_{pi}) se poate determina analitic printr-o metodă specifică, urmând a se alege ca T_{pi} a ansamblului valoarea maximă obținută pentru componentele ansamblului.

Parametrii operaționali.

Depunerile sunt constituite, în general, din mai multe rânduri și uneori din mai multe straturi. Modul de așezare al acestora în cadrul depunerii influențează nivelul calitativ al suprafețelor încărcate. Aceasta influență se manifestă în mod deosebit asupra diluției, a omogenității depunerii și a nivelului tensiunilor reziduale.

În scopul obținerii unor suprafețe omogene se recomandă ca rândul ulterior să topească pe cel precedent pe $1/3 \dots 1/2$ din lățimea acestuia. (fig.4.6)

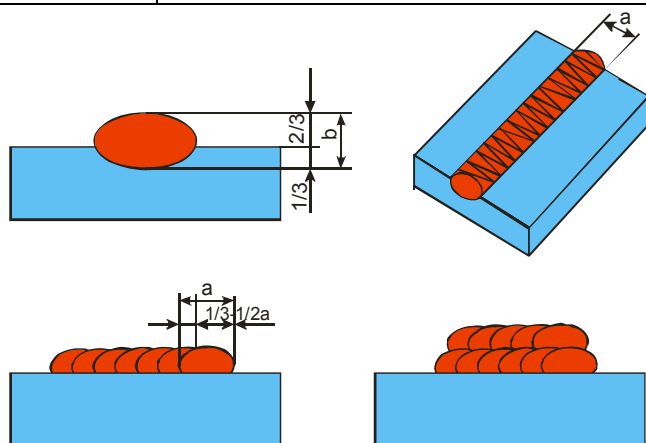


Fig.4.6 Modul de depunere a rândurilor de sudură la încărcarea cu sudură.

În mod obișnuit, pătrunderea la sudare este de cca $1/3$ din lățimea b a rândului de sudură. Această valoare asigură o legătură intimă între cele două elemente și o diluție a metalului depus de 10...40%, în funcție de procedeul utilizat și de densitatea de curent folosită la sudare.

În cazul în care încărcarea se face cu pendulare este indicat ca aceasta să nu depășească de trei ori diametrul electrodului. Ordinea de sudare se stabilește în așa fel încât să conducă, în piesa încărcată, la tensiuni și deformații minime, pe cât posibil echilibrate.

4.1.10 Încărcarea prin sudare cu arc electric cu electrozi tubulari.

La ora actuală marea majoritate a electrozilor pentru sudare și încărcare sunt realizați din vergele metalice pline cu înveliș aplicat prin presare. Totuși cu mulți ani în urmă, în perioada de început a sudurii, se realizau electrozi cu vergele metalice tubulare cu înveliș aplicat prin imersionare, ponderea lor fiind mult mai mare pe piață față de electrozii cu vergea plină.

Din punct de vedere constructiv diferența dintre cele două tipuri de electrozi este semnificativă. În figura 4.7 sunt prezentate secțiuni transversale ale electrozilor cu vergea metalică plină(a) și cu vergea metalică tubulară(b).

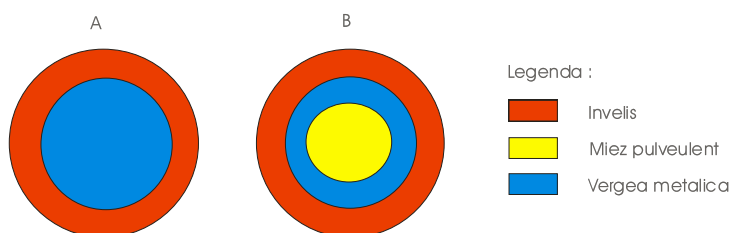


Fig.4.7. Secțiuni transversale ale electrozilor:

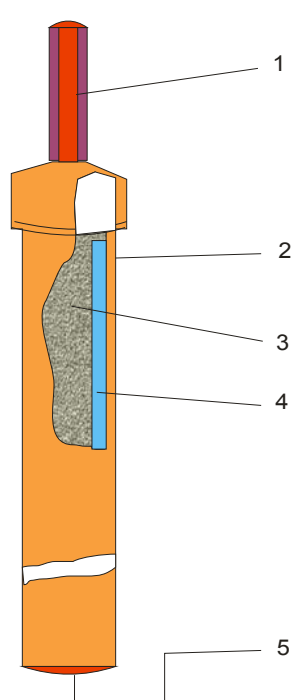
a-electrod cu vergea plină (EVP); b-electrod cu vergea tubulară(EVT).

Dezvoltarea tehnologiilor de fabricație în masă a electrozilor pentru sudare au impus în cele din urmă ca marii producători să încline spre fabricarea electrozilor cu vergea plină cu înveliș aplicat prin presare. Astăzi datorită avantajelor reale pe care le au electrozii tubulari la încărcare, comparativ cu electrozii convenționali (cu vergea plină), câteva firme specializate pe protecția pieselor împotriva uzării au rămas fidele fabricării și utilizării la încărcare a electrozilor tubulari.

Astăzi se fabrică o gamă largă de electrozi tubulari, la diametre cuprinse între 3,2 și 12 mm.

În cadrul contractului în derulare se urmărește realizarea unor electrozi de tip CuNiAl cu înveliș și miez compozit, atât în variantă cu vergea plină cât și cu vergea tubulară.

4.1.11 Caracteristicile constructive ale electrozilor tubulari.



În figura 4.8 sunt prezentate părțile componente ale unui electrod tubular

Fig.4.8 Electrocul tubular pentru încărcare

1 – Capătul de prindere – cod culoare

2 – Înveliș

3 – Miez pulverulent

4 – Vergea tubulară din cupru

5 – Capătul de amorsare

Capătul de prindere are în general lungimea de 20-25 mm.

Electrozii cu diametre mai mari de 6,0 mm, sunt prevăzuți cu un dispozitiv universal de prindere (la diametrul de 6,0 mm). Pe capătul de prindere se face marcarea electrodului conform unui cod

de culori;

Învelișul electrodului este subțire și aplicat prin imersie;

Miezul pulverulent conține elemente de aliere;

Vergea tubulară este din oțel și asigură etanșeitatea miezului pulverulent;

Capătul de amorsare este grafitat (prin imersie) și asigură o amorsare rapidă a arcului electric.

Profilul de închidere al tubului.

La fabricarea electrozilor tubulari pot fi utilizate tuburi cu următoarele profile de închidere, prezentate în fig. 4.9

- tub cu profil de închidere simplu cap la cap (a);
- tub cu profil de închidere simplu cu marginile suprapuse (b);
- tub cu profil de închidere simplu cap la cap sudat, pe generatoare (c).

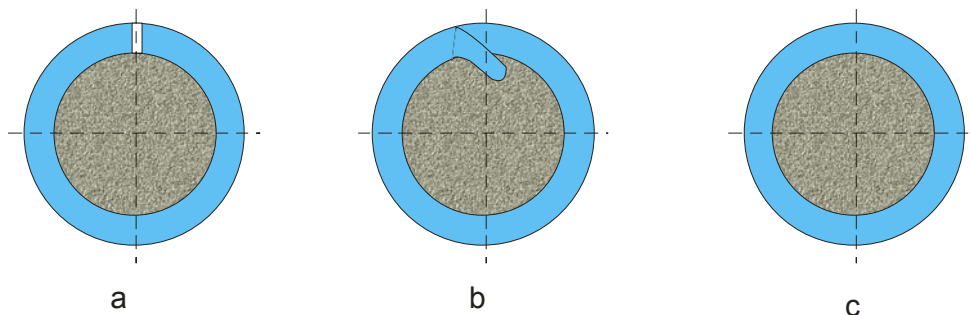


Fig.4.9 Tipuri de profile de închidere pentru electrozi tubulari

Coeficientul de umplere, K_u , în [%], se determină cu următoarea formulă:

$$K_u = \frac{M_{mie\bar{z}}}{M_{total}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

unde: - $M_{mie\bar{z}}$, este masa miezului pulverulent, în g;

- M_{total} , este masa totală a tubului umplut (fără înveliș), în g.

Valorile coeficienților de umplere, K_u , pentru gama de electrozi tubulari fabricați pe plan mondial, sunt cuprinse între 40-80%.

Miezul pulverulent al electrozilor tubulari conține elementele de aliere introduse sub formă de feroaliaje sau pulberi metalice.

Învelișul

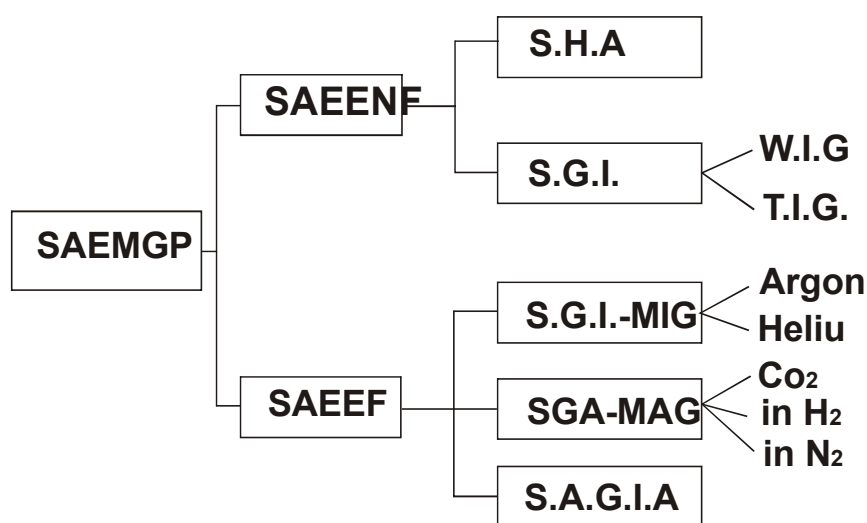
La majoritatea electrozilor tubulari învelișul este de tip grafitic sau grafitic bazic, iar în cazul electrozilor de tip CuNiAl este obligatoriu să conțină și elemente dezoxidante cum este criolitul sau fluoroborajii.. Aceștia se pot utiliza atât în curent continuu (cc^+) cât și în curent alternativ(ca).

Grosimea învelișului este cuprinsă între 0,4 -1,0 mm și se încadrează în categoria de învelișuri subțiri, respectiv pentru aliere prin vergea și înveliș grosimea învelișului crește iar aceștia se încadrează în electrozi cu înveliș mediu sau în unele cazuri în electrozi cu înveliș gros.

4.2 ÎNCĂRCAREA PRIN SUDARE CU ARC ELECTRIC ÎN MEDIU DE GAZE PROTECTOARE.

4.2.1.Principii generale

Sudarea cu arc electric în mediu de gaze protectoare, prin toate variantele cunoscute își găsește o aplicație extinsă în domeniul particular al operațiilor de încărcare întrucât sigură în primul rând o protecție a arcului electric și a băii metalice față de acțiunea mediului înconjurător în mod special a aerului prin componentele sale cele mai periculoase: oxigenul, hidrogenul, azotul ,etc. Procedeele de sudare care fac parte din această categorie sunt prezentate sintetic în fig.4.10.



SAEMGP-sudarea cu arc electric în mediu de gaze protectoare.

SAEENF-sudarea cu arc electric cu electrod nefuzibil.

SAEFF-sudarea cu arc electric cu electrod fuzibil.

SHA-sudarea cu hidrogen atomic (arc-atom).

SGI-sudarea în gaze inerte.

SGI-MIG-sudarea în gaze inerte-metal activ gaz.

SGA-MAG-sudarea în gaze active-metal activ gaz.

SAGIA-sudarea în medii de gaze inerte și active.

Fig.4.10. Clasificarea procedeelor de sudare în mediu de gaze protectoare:

Gazele inerte protejează baia de metal topit, nu intră în combinații chimice cu alte elemente și nu rămân în cordonul depus.

Gazele active se dizolvă și formează cu metalul lichid compuși chimici, ele influențând procesele metalurgice din spațiul arcului.

Electrodul nefuzibil are rolul de a forma arcul electric cu suprafața de încărcare, el neconsumându-se fiind confecționat de regulă din Wolfram sau thoriu, materialul de adaos introducându-se din exterior în baia metalică, fiind formați din sârme, baghete, vergele tubulare etc. Pentru cazul de față se poate aplica numai sudarea în medii de gaze inerte.

4.2.2 Încărcarea prin procedeul de sudare WIG.

Sudarea WIG este un procedeu de sudare manual, sau poate fi mecanizat mai ales la operații de încărcare.

Arcul electric se amorsează între un electrod nefuzibil (1) din W aliat cu Th, Zr, Ce, La și piesa de încărcat, ambele fiind conectate la un transformator (sursă) de sudare. Contactul electric la electrodul de W se face printr-o piesă de contact din cupru montată în corpul pistolului de sudare dând posibilitatea să se deplaseze electrodul pe măsura consumării acestuia în timp. Concentric cu electrodul gazul de protecție (Ar, He) este adus din butelie la duza (2) care asigură un debit constant de gaz protector necesar pentru protecția arcului de sudare și zona de sudare.

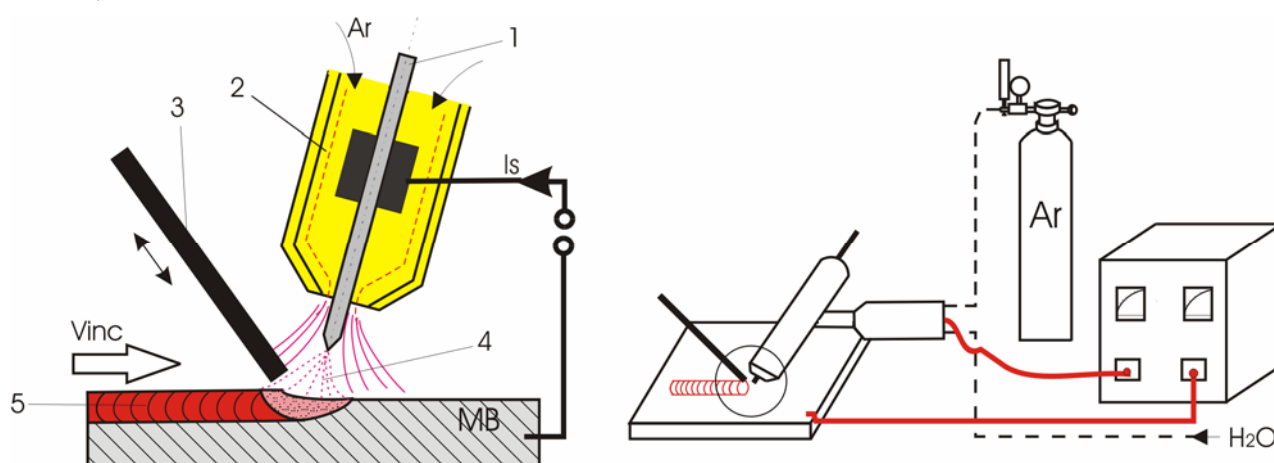


Fig. 4.11. Schema de principiu a încărcării prin procedeul de sudare W.I.G: 1- electrod de wolfram; 2-duză insuflare argon; 3-vergea material de adaos; 4-arc electric; 5-depunere.

Se formează astfel o baie metalică provenită din topirea superficială a suprafeței de încărcat și care se completează cu materialul de adaos provenit din vergeaua (3) introdusă în baia metalică (4) și menținut permanent în jetul de gaz protector de către operator. Acesta urmărește (prin masca de sudură) și reglează în permanență volumul de material de adaos necesar mai ales la operații de încărcare, precum și adâncimea de pătrundere, implicit diluția.

Electrodul din W este răcit cu jetul de gaz sau apă, pentru a evita supraîncălzirea sau deteriorarea sa.

Arcul se poate alimenta în c.a și c.c. În curent continuu există două modalități de alimentare:

- polaritate directă c.c⁻, electrodul la catod și piesa la anod
- polaritate inversă c.c.⁺, electrodul la anod și piesa la catod.

La operațiile de încărcare prin procedeul WIG se lucrează de obicei cu c.c.⁺, unde bilanțul termic pe piesă e mai redus; ca rezultat baia metalică este largă și mai puțin adâncă.

Electrodul fiind bombardat de electroni, care-i cedează energia, se încălzește puternic motiv pentru care se utilizează diametre mai mari ale electrodului de W sau obligatoriu răcirea cu apă a acestuia. Ionii de Ar, fiind grei la impactul lor cu piesa, ei sparg pelicula de oxizi de pe suprafața piesei, iar jetul de gaz o înlătură, producându-se o sablare electrică a piesei, fenomen deosebit de favorabil la piese acoperite cu oxizi greu fuzibili (Al, Hg).

Alimentarea în c.a. (utilizată mai ales la piese din Al) favorizează o situație intermediară, fenomenele se ameliorează în condițiile de curățire superficială a suprafețelor.

Se mai utilizează și curent pulsant, în polaritate directă, situație în care deformațiile sunt reduse.

Materialele pentru sudare constau din:

-electrodul de W aliat cu 2%Th, Zr, Ce, pentru îmbunătățirea condițiilor de emisie, amorsare mai ușoară a arcului, stabilitate mai bună a acestuia, încărcare mai mare de curent. Are $l_w=175$ mm și $d_w=0,8; 1,2; 1,6; 2; 3; 4; 5; 6$ mm.

-gazul de protecție poate fi argonul sau heliul.

Este preferat argonul (puritate 99,9%, umiditate $\leq 0,03\%$) datorită avantajelor pe care le prezintă: ardere mai limitată a arcului; amorsare mai ușoară, tensiune de ionizare mai scăzută la aceeași lungime a arcului și curent de sudare, curățire mai eficientă a oxizilor din cauza greutateii mai mari a ionilor; preț de cost mai scăzut mai accesibil.

-materialele de adaos sunt constituite de cele mai multe ori din vergele metalice de lungime 1000 mm, diametre 0,8; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4 mm din aliaje de tip CuNiAl.

Se utilizează pentru operații speciale de încărcare vergele tubulare, benzi striate sau paste conținând elementele de aliere necesare depunerii. Alierea în acest caz se face cu preponderență din fluxul (pulberea) conținută în vergele. Alierea este posibilă și din

materialul metalic a vergelei (benzii). În aceste cazuri operația de sudare WIG fiind un procedeu manual (oarecum similar cu sudarea cu flacără de gaze), arcu și baia metalică sunt vizibile sudorul are posibilitatea controlului procesului de încărcare. Se practică o pendularea electrodului de W, pentru obținerea unor depuneri mai late.

Procedeul poate fi automatizat în cazul unor operații speciale de încărcare, utilizându-se materiale de adaos sub formă de sârmă rece sau caldă introdusă direct în spațiul arcului-baia metalică, urmând traiectoria pistolului de sudare WIG.

În aceste situații capul de sudare (pistoletul) WIG se poziționează într-un dispozitiv specializat care asigură deplasarea mecanizată (robotizată) a acestuia, concomitent cu alimentarea cu materiale de adaos-sârmă (rece sau caldă), piesa de încărcat fiind fixă sau deplasându-se și aceasta într-un sistem sincronizat cu pistolul.

Forma, dimensiunile și configurațiile geometrice ale pieselor (subansamblelor) care se pot încărcă (recondiționa) prin procedeul WIG sunt foarte diversificate. Începând de la piese din domeniul mecanicii fine (aparatură medicală), scule așchietoare, scule pentru prelucrări la cald(ștanțe, matrițe, poansoane, etc), supape, vane, până la piese de dimensiuni considerabile procedeul este folosit cu mare succes.

În unele situații procedeul WIG de sudare este folosit pentru realizarea straturilor tampon (de legătură) în combinație cu încărcarea prin sudare cu electrozi înveliți sau alte procedee.

4.2.3 Încărcarea prin procedeul de sudare MIG

Stabilirea tehnologiei de încărcare prin procedeul MIG urmărește două aspecte și anume:

- aspectul calitativ, asigurarea calității impuse încărcării la cel mai înalt grad;
- aspectul economic, prețul de cost cât mai redus;

Aceasta presupune cunoașterea în primul rând a comportării materialului de bază la încărcare, cunoașterea performanțelor procedurii de încărcare utilizat, a parametrilor tehnologici și recomandărilor tehnologice specifice, cunoașterea performanțelor echipamentelor de sudare (încărcare) și exploatarea acestora.

Schema de principiu a procedurii de încărcare MIG este prezentată în figura 4.12.

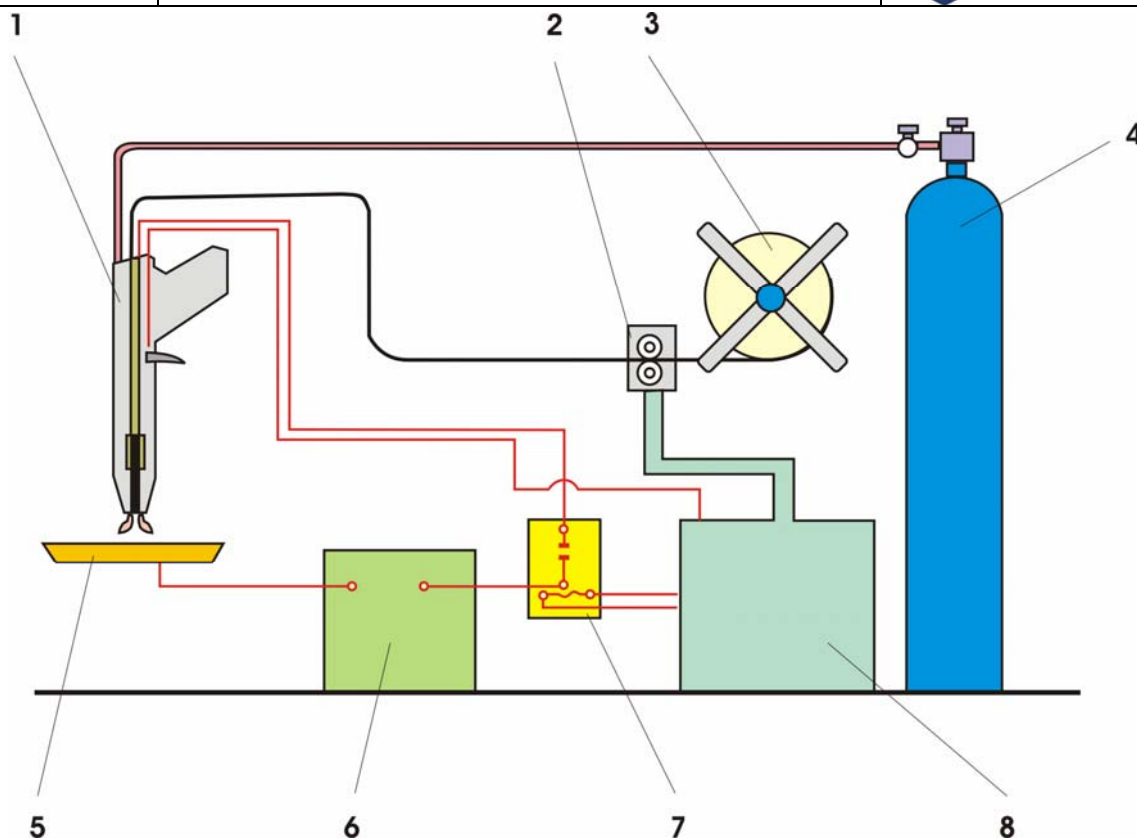


Fig.4.12. Principiul instalației de sudare MIG

1 – pistolul pentru încărcare ;2 – dispozitivul de avans al sârmei ;3 – rola de sârma ;

4 – butelia pentru gazul de protecție ;5 – piesa ;6 – sursa ;7 – contactor ; 8 – dispozitivul de control pentru avansul sârmei,curentul de sudare, gazul de protecție și lichidul de răcire al pistolului.

Forma și dimensiunile picăturii de metal topit cât și tipul transferului, este determinat de o serie de factori:

- tipul curentului de sudare
- densitatea curentului de sudare
- compoziția chimică a sârmei electrod
- lungimea liberă a sârmei electrod
- gazul de protecție
- caracteristicile sursei de sudare

Variația volumului și a ratei de transfer a picăturii în funcție de curentul de sudare este ilustrată în fig.4.13

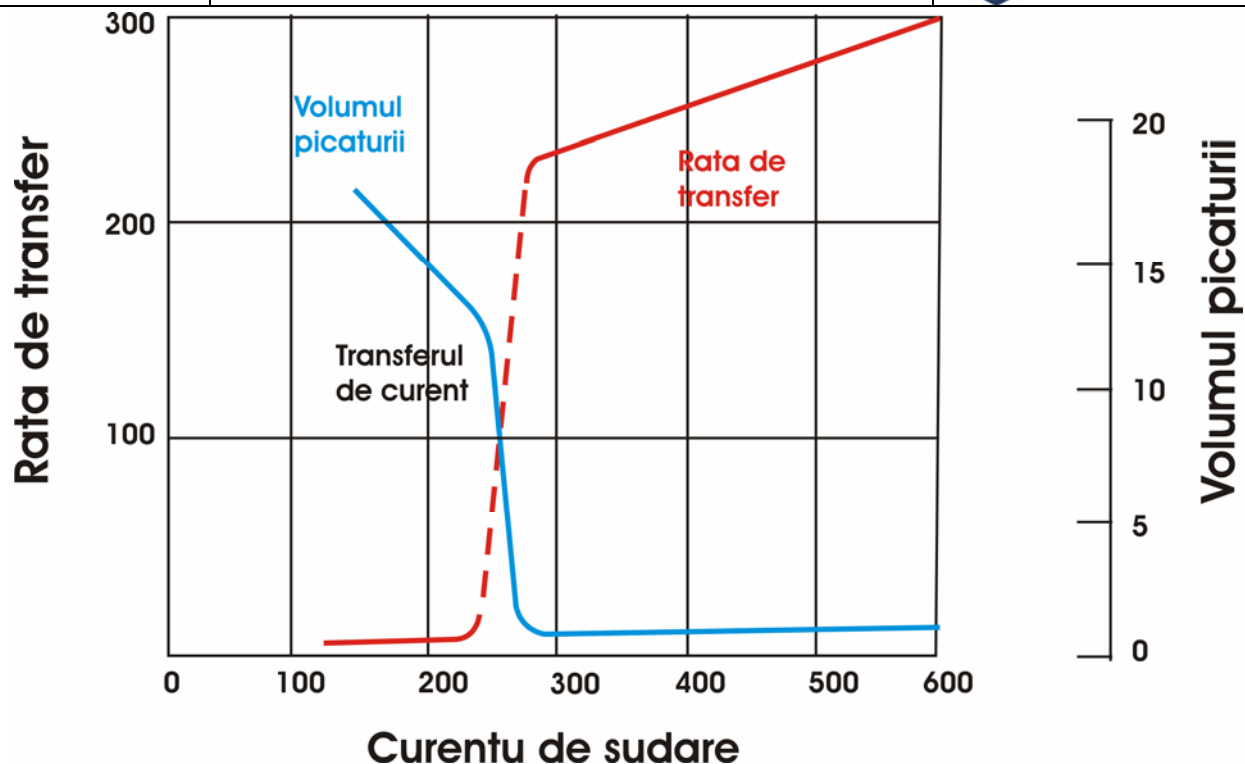


Fig.4.13 Variația volumului și a ratei de transfer a picăturii în funcție de curentul de sudare.

Principiul de funcționare al pistolului pentru încărcare MIG :

- pistolul este prevăzut cu un tub electric de contact ce are rolul de a transmite curentul de sudare la sârma electrod.
- de asemenea asigură direcționarea gazului de protecție prin intermediul conductei de gaz și a duzei
- la acționarea butonului de comandă se acționează curentul de sudare, sârma electrod și gazul de protecție asigurând astfel o productivitate mai ridicată.

Schema de principiu a pistolului de încărcare cu arc dublu este prezentat în fig.4.14

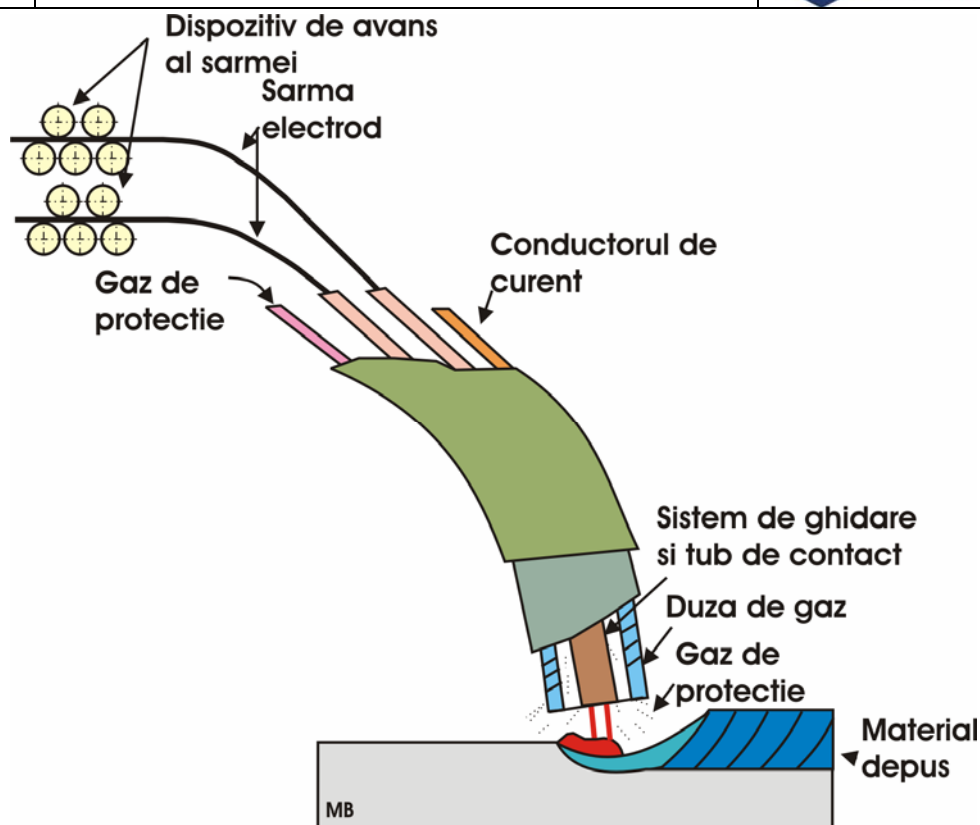


Fig.4 14 Pistoletul pentru încărcare MIG cu arc dublu.

1 – gaz protector; 2 – duza; 3 – sistem de ghidare și contact; 4 – conductor de curent; 5 – dispozitiv de avans al sârmei; 6 – sârma electrod; 7 – conductă de gaz.

Procedeul prezintă o productivitate ridicată, o bună stabilitate a arcului electric și o participare redusă a metalului de bază la sudură.

Elaborarea tehnologiei de încărcare presupune parcurgerea unor etape cum ar fi:

- Stabilirea cuplului sârmă – gaz de protecție pe baza criteriilor de alegere a sârmei, respectiv a gazului de protecție. Se precizează marca sârmei electrod și a gazului de protecție utilizate.
- Stabilirea diametrului sârmei electrod. Diametru sârmei electrod poate fi $d_s = 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2; (2,4)$ mm. Alegerea diametrului se face în funcție de grosimea metalului de bază, valoarea curentului de sudare, poziția de încărcare, forma rostului. Diametrul de sârmă cel mai utilizat și care acoperă o plajă mare de necesități tehnologice la încărcare este 1,2 mm.
- Stabilirea numărului de treceri. Depinde în principal de natura materialului de bază

(sensibil sau insensibil la supraîncălzire), de poziția de încărcare. Pe baza acestor factori se stabilește aria trecerilor care poate lua valori cuprinse în domeniul 5 ... 40 mm².

$$n_t = A_t / A_{tu} \quad \text{unde:}$$

A_t – aria trecerii;

A_{tu} – aria trecerilor de umplere ale rostului;

n_t – numărul de treceri;

► **Gazul de protecție**

Gazul de protecție are în principal rolul de a asigura protecția băii metalice și a picăturii de metal topit din vârful sârmei electrod sau la trecerea acesteia prin coloana arcului împotriva interacțiunii cu gazele din atmosferă, oxigen, hidrogen, azot, etc. În același timp însă gazul de protecție are o mare influență asupra desfășurării procesului de sudare în ansamblul lui, acționând asupra stabilității arcului, parametrilor tehnologici de sudare, transferul picăturii de metal topit prin coloana arcului, reacțiilor metalurgice la nivelul băii și picăturii de metal, transformărilor structurale, proprietăților mecanice și de tenacitate ale îmbinării, formei și geometriei cusăturii sudate, stropilor, productivității la sudare, etc.

Aceste influențe complexe sunt determinate de proprietățile termo-fizice și de activitatea chimică a gazelor de protecție, care diferă mult de la un gaz la altul. Prin urmare pentru alegerea corectă a gazului de protecție este necesară cunoașterea acestor proprietăți și efecte pe care acestea le au în procesul de sudare.

► **Stabilirea principalilor parametrii pentru realizarea operației de încărcare**

- a) diametrul sârmei electrod
- b) calculul I_s
- c) calculul U_a
- d) felul și polaritatea curentului
- e) energia liniară
- f) alegerea gazului de protecție

a) **Diametrul sârmei electrod (d_e).**

Diametrul electrodului se stabilește în funcție de scopul urmărit, de grosimea depunerii și de accesibilitatea în zona de încărcat.

La sudarea în mediu de gaze protectoare MIG diametrele standardizate sunt: 0,8 ; 1 ; 1,2 ; 1,4 ; 1,6 .

Ținând cont de configurația depunerii se poate folosi pentru MIG o sârmă cu $d_e = 1,2$

mm.

Sârmele trebuie să aibă suprafața netedă și curată, fără țunder, rugină și ulei. Pentru o mai bună conservare ea se acoperă cu un strat de cupru lucios.

b)Calculul I_s .

$$I_{s_{\min}} = 200 \text{ [A]}$$

$$I_{s_{\max}} = 400 \text{ [A]}$$

$$d_e = 1,2 \text{ mm}$$

c)Calculul U_a .

$$U_a = 14 + 0,05 \cdot I_s = 14 + 0,05 \cdot 300 = 29 \text{ [V]}$$

d)Felul și polaritatea curentului.

Se va folosi sudarea în curent continuu, polaritatea directă (polul negativ la electrod)

cc⁺.

e)Energia liniară.

$$El = \frac{60 \cdot U_a \cdot I_s}{1000 \cdot V_s} = \frac{60 \cdot 29 \cdot 300}{1000 \cdot 25} = 20 \text{ [kJ / cm]}$$

f) Alegerea gazului de protecție

Se alege din tabele sau din recomandările producătorilor de gaze protectoare.

4.2.4 CONCLUZII

Cercetările efectuate au evidențiat posibilitățile de depunere a aliajelor de tip CuNiAl prin sudare preferențial prin procedeele :

- ◆ Sudare electrică manuală cu electrozi înveliți constituiți din vergea plină și înveliș compozit sau din vergea de tip tubular cu autoprotecție sau cu protecție de înveliș. În situațiile arătate alierea depunerilor se poate realiza din vergea sau mixt din vergea și înveliș.
- ◆ Sudarea electrică în mediu de gaz protector, inactiv, cu sîrmă tubulară, cu cămașă din Cu trefilabil și miez pulverulent constituit din pulberi de tip CuNiAl sau amestecuri de pulberi specifice aliajului și componenți de protecție față de oxidare de tip criolitic și/sau fluoroborici.
- ◆ Tehnicile de încărcare și parametri tehnologici de sudare sunt specifici operațiilor de realizat (fabricare de piese noi; recondiționare; realizare de înbinări; etc.) .

BIBLIOGRAFIE

1. Binchiciu, H. ș.a. Incărcarea prin sudare cu arcul electric. Editura Tehnică București, 1992.
2. Iovănaș, R; Iovănaș, D.M. Recondiționarea și remanierea produselor sudate . Editura Universitatea Transilvania Brașov, 2006

Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl

CAP. V. Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl – ICEPRONAV

5.1 CONDIȚII TEHNICE DE CALITATE

5.1.1 - CONDITII GENERALE

5.1.1.1 - Dimensiuni și abateri limită

Dimensiunile și abaterile limită ale electrozilor trebuie să corespundă fig.5.1 și tabelul

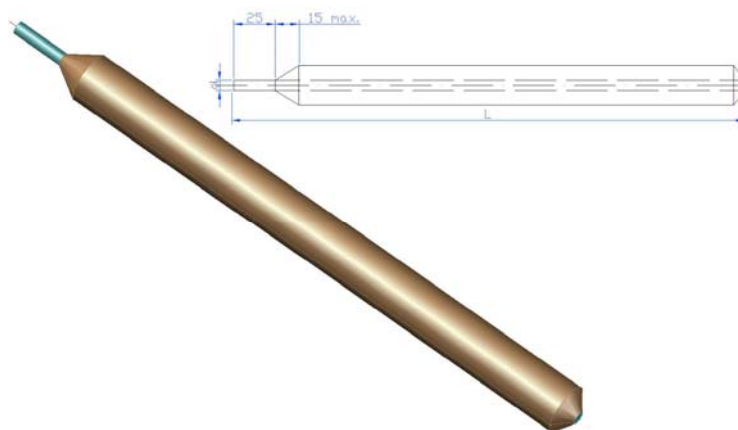


Fig. 5.1

5.1.

Tabelul 5.1 Dimensiuni în mm

Diametrul vergelei, d		Lungimea vergelei, L	
nominal	abateri limită	nominală	limită
1,6*)	0 -0,06	(150);200;250	±2,0**)
2,0	0 -0,06	(200);250;300;350;450	
2,5	0 -0,06	250;300;350;450	
3,15*)	0 -0,08	350;450	
3,25	0 -0,08	350;450	
4,0	0 -0,08	350 ;450 ;500 ;600 ;700;900	
5,0	0 -0,08		

6,0	0 -0.08		
6,3*)	0 -0,08		
8,0*)	0 -0.08		

*) Se livrează numai cu acordul producătorului.

**) Se pol livra electrozi și cu abateri limită negative, păstrând câmpul de toleranță.

Dimensiunile din paranteze se vor evita pe cât posibil.

La cererea beneficiarului și cu acordul producătorului se pot fabrica electrozi cu dimensiuni care nu sunt cuprinse în tabelul 1.

5.1.1.2 - Aspect

Electrozii se livrează în mod obișnuit cu capătul de prindere curățat de înveliș, conform fig.5.1, cu excepția electrozilor cu lungimea de 450 mm și având diametrele de 2,0 și 2,5 mm care se livrează dezveliți la mijloc. Electrozi vor fi teșiți conic la capătul de amorsare, conform fig. 5.1. Învelișul electrozilor trebuie să fie aderent, rezistent, compact, omogen și fără defecte care să influențeze negativ asupra caracteristicilor tehnice de sudare. Se admite o despicare parțială a învelișului pe o lungime totală de max. 20 mm la încercarea de la 5.1.1.3. Se admite lipsa de înveliș la capătul de amorsare pe o lungime de max. 3 mm, pe cel mult jumătate din circumferința electrodului.

5.1.1.3 - Coaxialitatea învelișului

Învelișul electrozilor trebuie să fie coaxial cu vergeaua metalică. Se admit următoarele valori ale excentricității, funcție de raportul dintre diametrul electrodului și al vergelei:

- max. 2,5%, dacă raportul dintre diametrul electrodului și al vergelei este mai mic de 1,55,
- max. 4,0%, dacă acest raport este mai mare de 1,55.

5.1.1.4 - Comportarea la sudare

Arcul electric trebuie să se amorseze ușor și să se mențină stabil, utilizând curentul, polaritatea, intensitatea și alte recomandări ale producătorului prevăzute în fișele tehnice ale mărcilor respective de electrozi.

Învelișul electrodului trebuie să se topească uniform, fără formare de „peniță”, care să împiedice topirea continuă a electrodului.

Zgura care se formează la suflare trebuie să nu influențeze formarea corectă a suprafeței stratului depus, iar după răcire trebuie să se poată îndepărta ușor.

Electrozii trebuie să prezinte o comportare normală la sudare în pozițiile indicate în fișa tehnica pentru marca respectivă.

5.1.1.5 - Caracteristici mecanice și compoziția chimică

Caracteristicile mecanice și compoziția chimică a metalului depus prin sudare trebuie să corespundă celor indicate în standardele, tipuri și în fișele tehnice ale mărcilor de electrozi.

5.1.1.6 - Caracteristicile tehnice

Caracteristicile tehnice de sudare și alte caracteristici suplimentare se prescriu în fișele tehnice ale mărcilor de electrozi.

5.1.1.7 - Defecte admise

Defectele admise în probele de metal depus sau în îmbinarea sudată trebuie să se încadreze în clasa II de execuție conform STAS 9398-73.

5.1.1.8 - Electrozi folosiți

Electrozii folosiți la sudarea construcțiilor supuse prevederilor prescripțiilor organizațiilor de supraveghere tehnică (ISCIR, Registrele Navale, etc.) vor fi în prealabil acceptați de aceste organizații.

5.1.2-REGULI PENTRU VERIFICAREA CALITĂȚII

Verificarea calității electrozilor se face pe loturi de livrare și pe loturi de fabricație.

5.1.2.1-Loturi

Lotul de livrare reprezintă o cantitate de electrozi de aceeași marca, același diametru al vergelei, cu același înveliș, fabricați prin același proces tehnologic, iar în cazul vergelei din sârmă, și din sârmă provenita din aceeași șarja, mărimea unui lot nu va depăși cantitățile indicate în tabelul 5.2,

Tabelul 5.2

Grupa de electrozi	Diametrul vergelei, mm		
	1..6. ..2.	3. 15...	5.0. ..8.0
	Mărimea lotului, t		
I	30	60	90
II	12	24	36
III.. .V	4	8	12

Lotul de fabricație reprezintă o cantitate de electrozi dintr-un lot de livrare, produsă pe aceeași instalație de presare, pe durata unui schimb.

5.1.2.2-Verificarea calității

Verificarea calității constă din:

- verificarea dimensiunilor și aspectului,
- verificarea coaxialității învelișului,
- verificarea aderenței învelișului,

- verificarea comportării la sudare,
- verificarea caracteristicilor mecanice ale metalului depus,
- verificarea compoziției chimice a metalului depus,
- verificarea conținutului de hidrogen difuzibil din metalul depus (numai pentru electrozii la care s-a prevăzut conținutul de hidrogen),
- verificarea sensibilității la fisurare la cald,
- verificarea caracteristicilor de depunere ale electrozilor,
- verificarea pătrunderii la sudare,
- controlul defectelor.

Verificarea dimensiunilor, aspectului, coaxialității și aderenței învelișului se execută pe eșantioane de electrozi, prelevate din același lot de livrare.

Numărul de electrozi din fiecare eșantion și condițiile de acceptare sunt specificate în tabelul 5.3.

Tabelul 5.3

Grupa de electrozi	Mărimea primului eșantion (număr de electrozi)	Numărul de electrozi necorespunzători din primul eșantion care determină :			Mărimea eșantionului suplimentar (număr de electrozi)	Numărul total de electrozi necorespunzători din ambele eșantioane.	
		acceptarea lotului	respingerea lotului	luarea unui eșantion suplimentar		acceptarea lotului	respingerea lotului
I	100	2	6	3...5	200	5	6
II	75	1	6	2...5	150	5	6
III.. V	35	1	3	2	70	2	3

Lotul respins poate fi resortat și prezentat la verificare ca lot nou, dar numai o singură dată.

Verificarea comportării la sudare se execută pe o probă sudată cu electrozi din fiecare lot de fabricație.

OBSERVAȚIE. - La cererea beneficiarului, verificarea comportării la sudare se poate executa la institutul de specialitate cu electrozi-martor prelevați cu ocazia omologării mărcii, în vederea aprecierii constanței în timp a fabricației mărcii de electrod.

Verificarea caracteristicilor mecanice și a compoziției chimice a metalului depus se execută pe o proba sudată cu electrozi din același lot de livrare. La cererea beneficiarului, verificarea se execută pe câte o probă sudată cu electrozi din fiecare lot de fabricație.

Verificarea conținutului de hidrogen difuzibil, a sensibilității la fisurare la cald, a caracteristicilor de depunere și a pătrunderii, precum și controlul defectelor se execută cu ocazia omologării mărcii și se repetă, la cererea beneficiarului, pe probe sudate cu electrozi din lotul livrat acestuia.

5.1.3-METODE DE VERIFICARE

5.1.3.1-Verificarea dimensiunilor

Verificarea dimensiunilor se executa fără distrugerea electrozilor, cu aparate obișnuite de măsurat.

5.1.3.2-Verificarea aspectului

Verificarea aspectului se execută cu ochiul liber.

5.1.3.3-Verificarea coaxialității

Verificarea coaxialității se executa pe electrozi din eșantion, prin îndepărtarea învelișului conform fig. 5.2, în trei zone repartizate în lungul fiecărui electrod la o distanță de 50...100 mm între ele, îndepărtările învelișului fiind rotite cu 120° între ele.

Excentricitatea (AP_c) pentru fiecare zonă se determină, pe baza măsurării grosimilor B și B_1 , cu ajutorul relației:

$$AP_c = (B - B_1) * 100 / 2d \text{ [%]}$$

Verificarea coaxialității se poate efectua și cu metode nedistructive, cu condiția ca acestea să asigure precizia de măsurare de 0,01 mm.

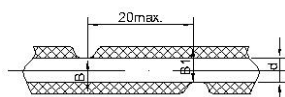


Fig. 2

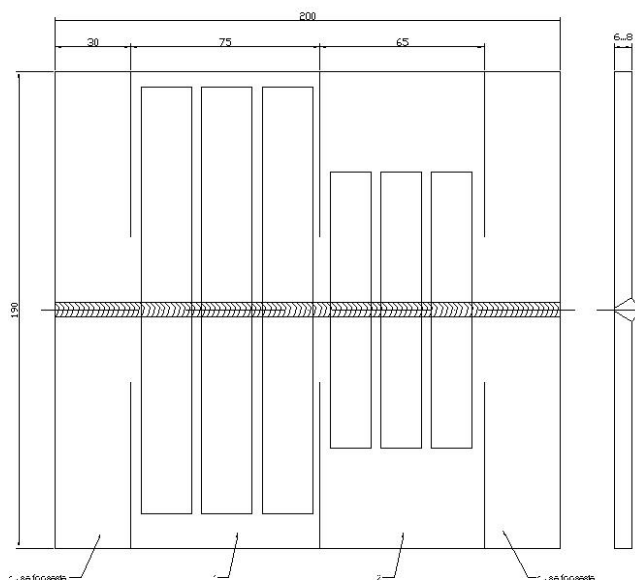


Fig 5.3

- 1 - Proba pentru epruvete de tracțiune.
- 2 - Proba pentru epruvete de încovoiere prin șoc

5.1.3.4-Verificarea aderenței învelișului

Verificarea aderenței învelișului se face lăsând electrodul, în poziție orizontală, să cadă liber pe o placă netedă. Înălțimea de cădere pentru electrozii cu diametrul vergelei până la 3,25mm inclusiv, este de 1m; pentru electrozii cu diametrul vergelei de 4mm este de 0,5m, iar pentru electrozii cu diametrul vergelei de 5mm și peste este de 0,3m.

5.1.3.5-Verificarea comportării la sudare

Verificarea comportării la sudare a electrozilor constă în urmărirea stabilității arcului, topirii electrodului, stropirii, desprinderii zgurii și aspectului depunerii la sudarea unei îmbinări în T. Sudarea îmbinării în T se face într-un singur rând, în pozițiile indicate în fișa tehnică a mărcii electrodului respectiv, folosind tipul curentului, polaritatea, tensiunea și intensitatea recomandate de producător. Temperatura inițială a tablei trebuie să fie mai mică de 100° C.

5.1.3.6-Verificarea caracteristicilor mecanice

Verificarea caracteristicilor mecanice ale metalului depus prin sudare:

În cazul electrozilor cu diametru $>3,15$ mm, verificarea caracteristicilor mecanice se execută pe una din probele de metal depus prin sudare conform STAS 7356/1-73; felul probei de metal depus este indicat în standardul de tipuri de electroni în care se încadrează marca acestora.

În cazul electrozilor cu diametru $<3,15$ mm, verificarea caracteristicilor mecanice se execută numai pentru electrozii din grupa I, pe o îmbinare sudată din care se prelevează 2 epruvete pentru încercarea la tracțiune.

5.1.3.7-Verificarea compoziției chimice

Verificarea compoziției chimice a metalului depus prin sudare se face:

În cazul electrozilor cu diametru $>3,15$ mm, la care se efectuează verificarea caracteristicilor mecanice, verificarea compoziției chimice se execută pe așchii prelevate, conform STAS 2015-73, din porțiunea calibrată a epruvetei de tracțiune ruptă.

În cazul electrozilor cu diametrul $< 3,15$ mm și al electrozilor la care nu se efectuează verificarea caracteristicilor mecanice, verificarea compoziției chimice se execută pe așchii prelevate dintr-o probă de depunere pe placă, executată conform STAS 7356/1-73 (proba 1).

Așchiile se prelevează, conform STAS 2015-73, până la o distanță de cel puțin 6 mm pentru electrozii cu diametru $< 0,15$ mm, respectiv de 10 mm pentru cei cu diametru $>3,15$ mm de la suprafața plăcii probei, după ce în prealabil de pe suprafața exterioară a depunerii s-a îndepărtat un strat de 3 mm grosime.

Determinarea elementelor chimice se execută conform standardelor de analiză chimică în vigoare.

5.1.3.8-Verificarea conținutului de hidrogen

Verificarea conținutului de hidrogen difuzibil se execută conform STAS 10047-75. Se recomandă folosirea metodei de colectare în vid.

OBSERVAȚIE Conținutul de hidrogen difuzibil, determinat prin alte metode are un caracter informativ și poate fi echivalat cu simbolul H15 numai dacă rezultatul determinărilor este de maximum $10 \text{ cm}^3 \text{ H}/100\text{g}$ metal depus.

5.1.3.9-Verificarea sensibilității la fisurare

Verificarea sensibilității la fisurare la cald se execută conform STAS 10221-75, prin metoda de încercare cu deformare unghiulară (proba sudată în T).

5.1.3.10- Verificarea caracteristicilor de depunere

Verificarea caracteristicilor de depunere ale electrozilor se executa conform STAS 10014-75.

5.1.3.11- Verificarea pătrunderii

Verificarea pătrunderii la sudare se execută conform STAS 9759- 71, proba de depunere pe placă a unui singur rând de metal de adaos (proba 1).

5.1.3.12- Controlul defectelor

Controlul defectelor se execută conform STAS 6606-75.

La înțelegere între producător și beneficiar se pot executa si alte verificări sau încercări. În cazul obținerii unor rezultate necorespunzătoare la una din verificările prescrise, chiar numai la o singură proba, verificarea respectivă se repetă pe un număr dublu de probe , executate cu electrozi din același lot. Dacă și în acest caz la o singură probă nu se obțin rezultate corespunzătoare, lotul se respinge.

Probele la care se constată defecte de execuție (din sudare sau din prelucrare) nu se iau în considerație. Încercarea se repetă înlocuindu-se epruvetele, fără ca aceasta să fie considerată contraprobă.

5.2-EXECUTAREA INCERCARILOR MECANICE

5.2.1-GENERALITATI

5.2.1.1-Pregătirea probelor

5.2.1.1.1-Proba 1

Depunerea pe o placă de bază a cel puțin trei straturi de metal de adaos.

Proba se folosește pentru determinarea durității metalului depus cu toate tipurile de electrozi.

Forma probei și modul de depunere a metalului de adaos conform fig.5.4 și fig.5.5.

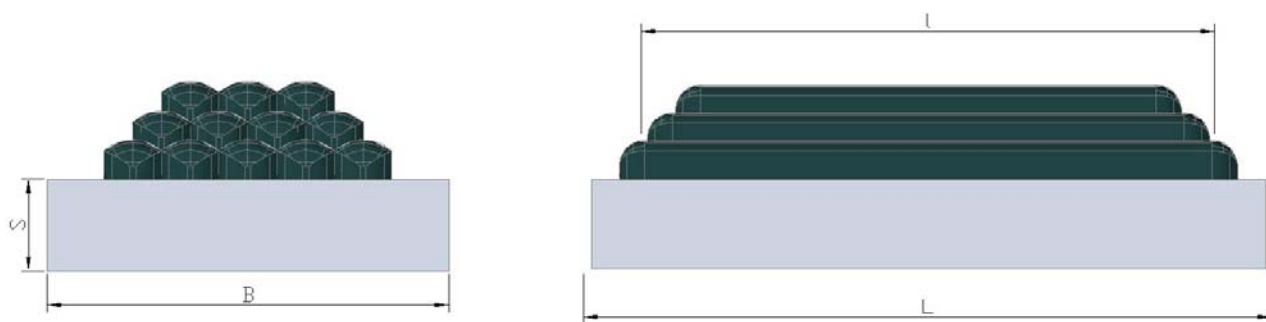


Fig. 5.4

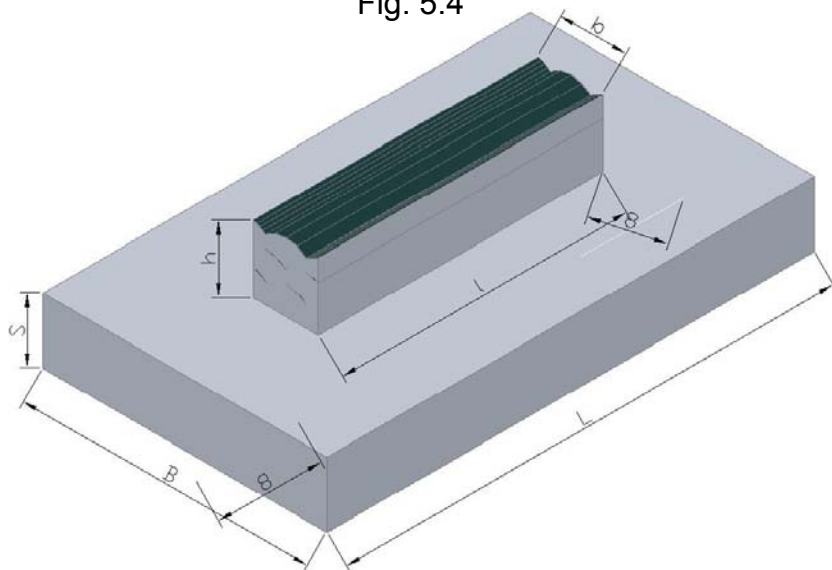


Fig. 5.5

Dimensiunile plăcii de bază și ale depunerii trebuie să fie conform tabelului 5.4.

Tabelul 5.4

Dimensiuni în mm

Diametrul Electrodului d	Dimensiunile plăcii			Dimensiunile metalului, depus		
	Grosimea S	Lățimea B	Lungimea L	Înălțimea h	Lățimea b	Lungimea l
2,5	10-14	55-70	55-70	10-14	10-14	110-150
3,15... 4	14-16	60-80	120-160	14-18	14-20	
5... 6	20-22			15-20	18-25	

După prelucrare, suprafața superioară a metalului depus trebuie să fie plană și netedă. În timpul prelucrării, se vor evita ecrusări și încălziri la o temperatură care ar provoca modificări în structura materialului,

Pentru executarea încercării de duritate, suprafața prelucrată se șlefuește.

5.2.1.1.2-Proba 2

Depunerea prin sudare a metalului de adaos între plăcile de bază fără încărcarea inițială a marginilor, cu placă suport neîncadrată.

Forma și dimensiunile probei, conform fig.5.6 și tabelului 5.5. Lungime L, conform pct. 5.2.1.1.6

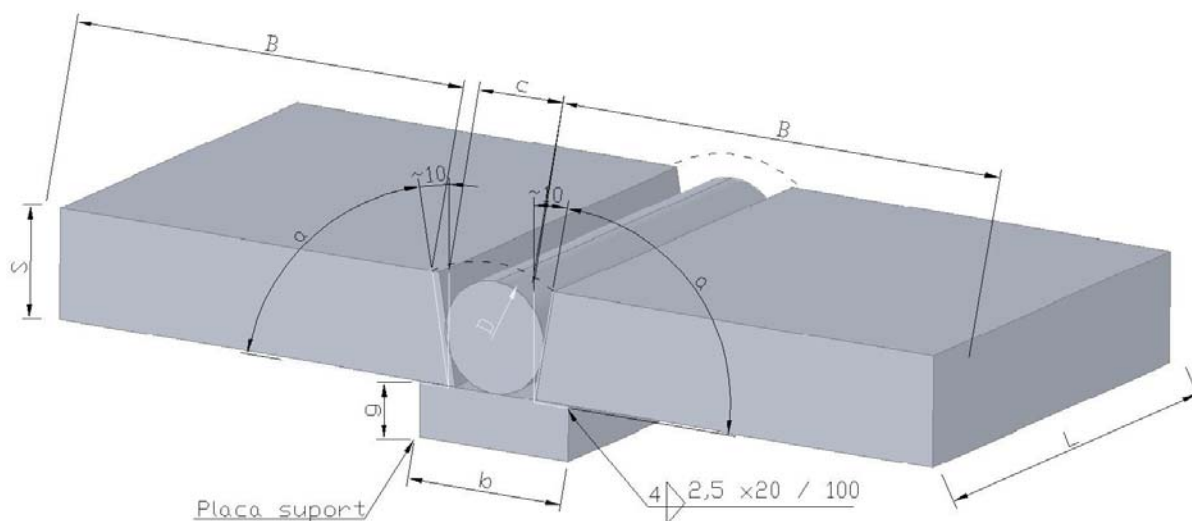


Fig.5.6

Tabelul 5.5

Dimensiuni în mm

Diametrul electrodului	B	s	α grade	D	b	g	e
2,5	40 ± 5	8	$80^\circ - 5$	8	$20 + 2$ 0	3	$6 + 1$ 0
3,15. ..4	80 ± 10	20	$80^\circ - 5$	20	$30 + 2$ 0	10	$16 + 1$ 0
5. ..6	120 ± 10	20	$80^\circ - 5$		$30 + 2$ 0	10	$16 + 1$ 0

5.2.1.1.3-Proba 3

Depunerea prin sudare a metalului de adaos între plăcile de bază, cu încărcarea inițială a marginilor, cu placă suport încărcată.

Proba se folosește pentru încercarea la tracțiune și la încovoiere prin șoc a metalului depus.

Forma și dimensiunile probei, conform fig. 5.7.

Lățimea plăcilor B este aceeași ca a probei 2 (tabelul 5), iar lungimea L, conform pct. 5.2.1.1.6

Înainte de asamblare, suprafețele rostului se încarcă prin sudare cu cel puțin trei straturi, cu electrozi care se încearcă. La depunerea straturilor prin sudare fiecare rând dintr-un strat, se răcește cu apă. Întregul strat depus se prelucreează prin așchiere la forma plană, respectând grosimea finală a depunerii, conform tabelului 5.6.

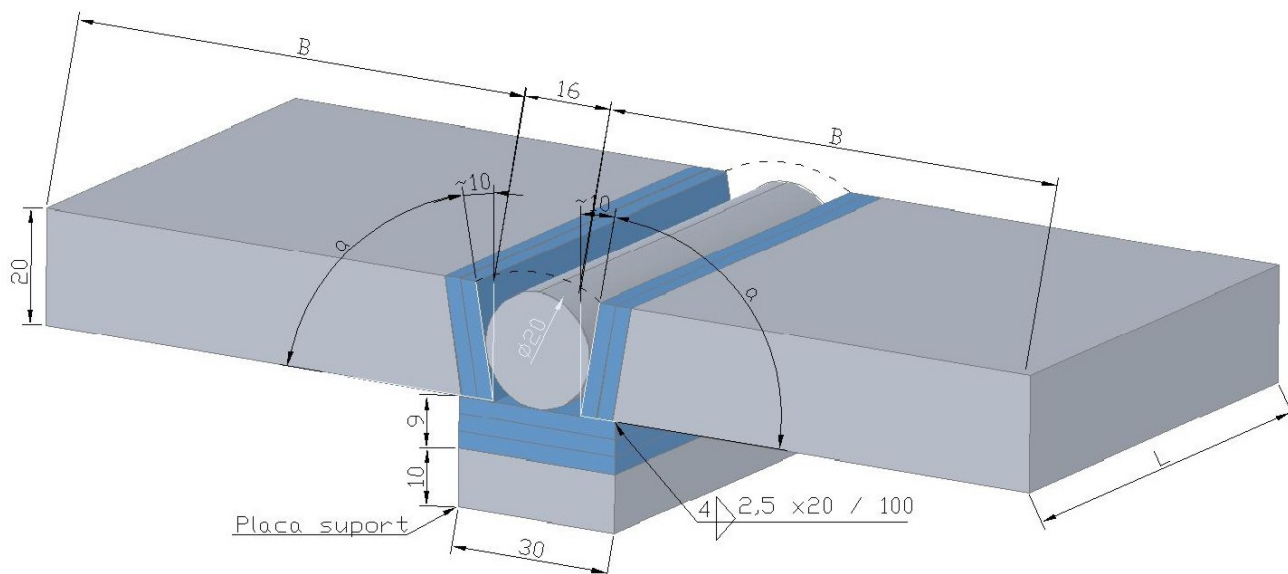


Fig.5.7

Tabelul 5.6

Grosimea depunerii, g mm
min. 3
min. 5

5.2.1.1.4-Proba 4

Depunerea prin sudare a metalului de adaos între plăcile de bază fără încărcarea inițială a marginilor, cu placa suport; încărcată.

Proba se folosește pentru încercarea la tracțiune și la încovoiere prin șoc a metalului depus.

Forma și dimensiunile probei, conform fig. 5.8

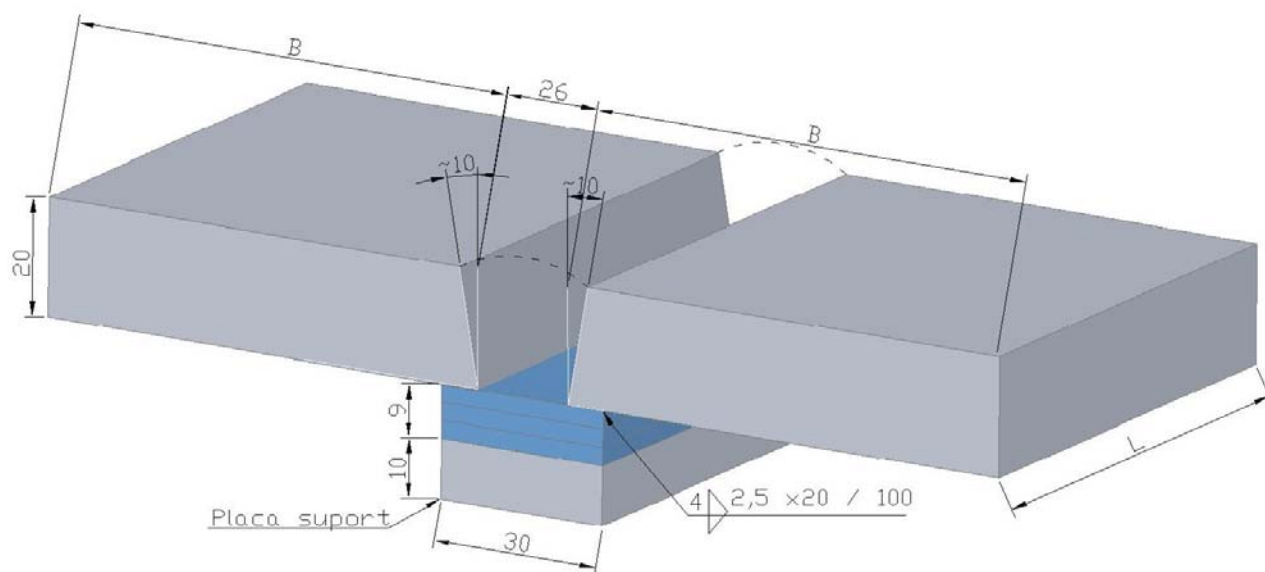


Fig.5.8

Placa suport se încarcă, conform pct. 5.2.1.1.3

Lățimea plăcilor B și lungimea L conform pct. 5.2.1.1.6

5.2.1.1.5-Proba 5

Depunerea între table de cupru a mai mult de cinci, straturi de metal de adaos pe placa suport.

Proba se folosește pentru încercarea la tracțiune a metalului depus cu orice tip de electrod învelit.

Forma și dimensiunile probei, conform fig.5.9.

Epruvetele se prelevează din zona de deasupra primelor cinci straturi, la o distanță de cel puțin 10 mm de la suprafața superioară a plăcii suport conform fig. 5.9.

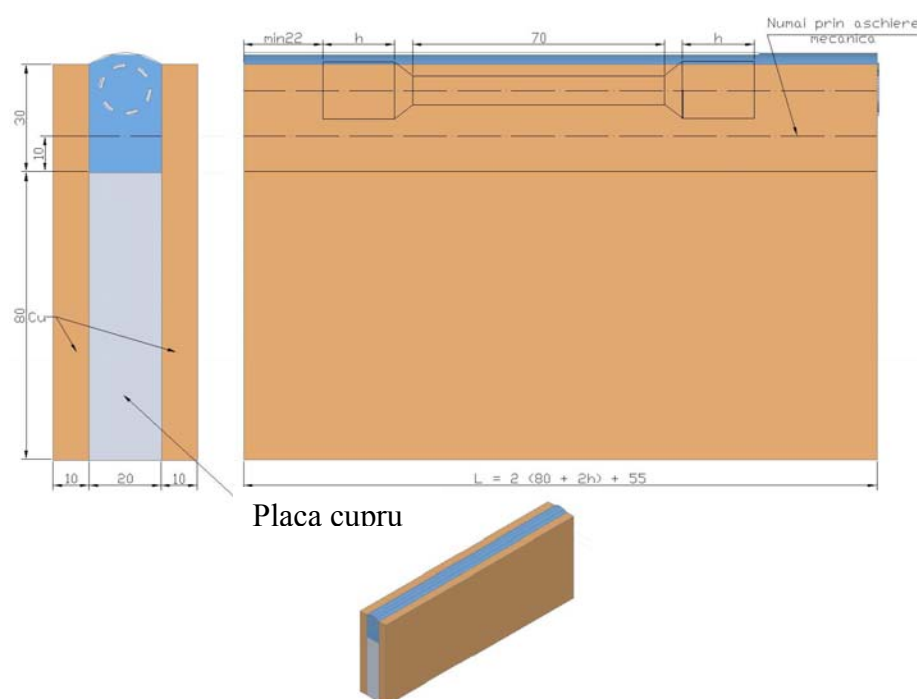


Fig. 5.9

5.2.1.1.6-Lungimea probelor

Lungimea probelor pentru încercarea la tracțiune și încovoiere prin șoc se stabilește în funcție de numărul epruvetelor de încercat, în modul următor:

- pentru două epruvete de tracțiune la proba 2, în cazul depunerii, cu electrod de diametru 2,5 mm.

$$L = 2 (40 + 2 h) + 55 \quad [\text{mm}]$$

- pentru o epruvetă de tracțiune și trei epruvete de încovoiere prin șoc.

$$L = 200 + 2 h \quad [\text{mm}]$$

în care h este lungimea capătului de prindere al epruvetei de tracțiune, în mm

- pentru o epruvetă de tracțiune și șase epruvete de încovoiere prin șoc:

$$L = 250 + 2 h \quad [\text{mm}]$$

- pentru proba 5 lungimea se stabilește astfel:

$$L = 2 \times (80 + 2 h) + 55 \quad [\text{mm}]$$

În toate trei cazurile, h este lungimea capătului de prindere a epruvetei de tracțiune.

5.2.1.2-Executarea depunerilor prin sudare

5.2.1.2.1-Regimul de sudare

Regimul de sudare va fi cel indicat de producătorul de electrozi.

5.2.1.2.2-Poziția depunerii metalului

Depunerea metalului se execută în poziție orizontală, în mai multe straturi, fiecare strat fiind compus din mai multe rânduri. După fiecare strat completat, se schimbă direcția de sudare.

La proba 4, fiecare strat trebuie să fie format din cel puțin 4 rânduri.

Fiecare rând, se depune folosind un singur electrod, astfel ca lungimea capătului neutilizat să fie de min. 50 mm.

Supraînălțarea sudurii trebuie să nu depășească valorile din tabelul 5.7.

Tabelul 5.7

Diametrul electrodului	Supraînălțarea sudurii
< 5	max. 3
≥ 5	max. 4

Suprafața fiecărui rând se curăță de zgură și de stropi metalici.

5.2.1.2.3-Condiții tehnice

Înainte de sudarea unui nou rând, metalul depus se va răci în aer liniștit.

5.2.1.3-Tratamente termice

5.2.1.3.1-Modalitatea de răcire după sudare

După sudare, probele se răcesc în aer liniștit.

5.2.1.3.2-Modalitatea de răcire după tratamentul termic

Probele supuse tratamentului termic se răcește în cuptor cu 150°C/h până la 350°C, după care probele se răcesc în aer liniștit.

5.2.1.4-Controlul probelor sudate

5.2.1.4.1-Condiții pentru probe

Probele care după sudare prezintă o deformare, cu valoarea săgeții f (fig.5.10) mai mare decât 15 mm nu se supun încercărilor.

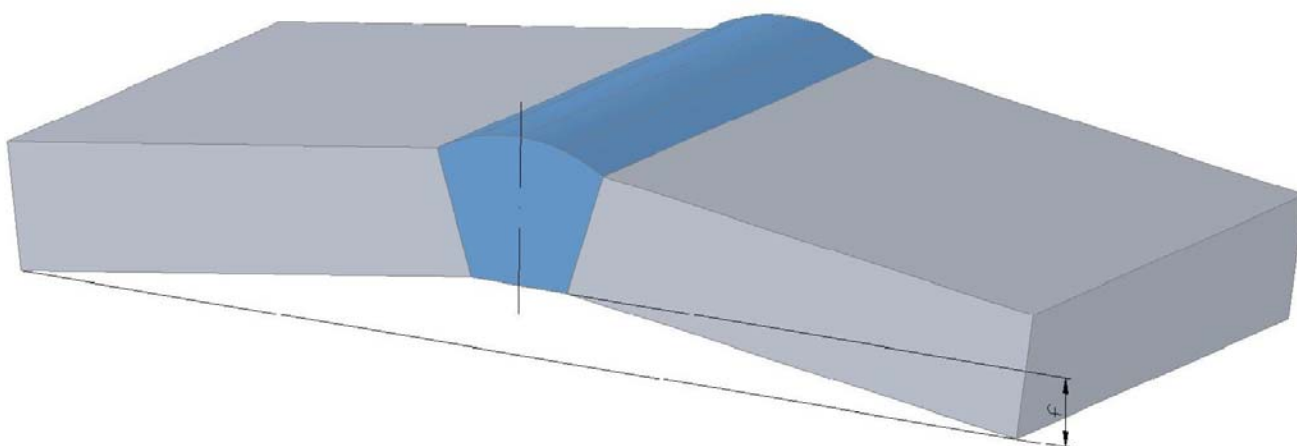


Fig. 5.10

5.2.1.4.2-Controlul radiografic

Se recomandă controlul radiografic al probelor de metal depus. Prelevarea epruvetelor se face din probe, care la controlul radiografic nu prezintă incluziuni de zgură, lipsă de topire, nepătrunderi, fisuri și alte defecte care pot influența negativ rezultatele încercărilor mecanice.

În urma controlului radiografie probele de metal depus trebuie să se încadreze în clasa II de execuție, conform STAS 9398-79.

2.1.5-Prelevare și pregătirea epruvetelor

5.2.1.5.1-Mod de prelevare

Prelevarea epruvetelor din probele 2,3,4 și 5 se efectuează prin aşchiere

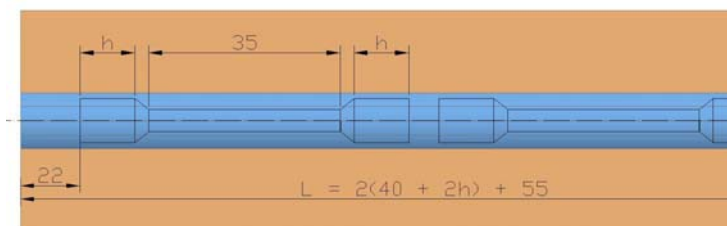
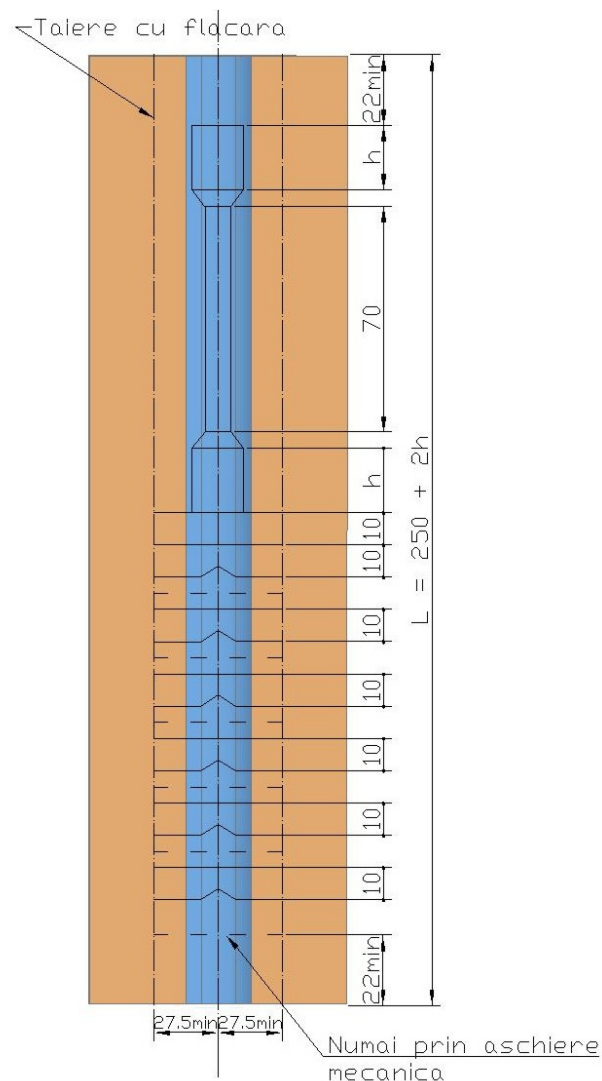


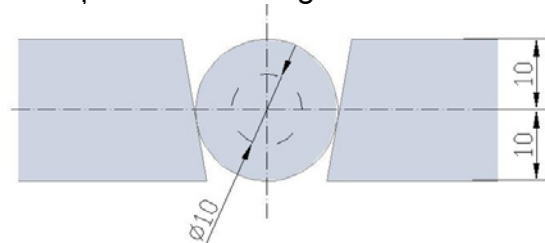
Fig. 5.11

Se admite prelevarea epruvetelor de tracțiune cu flacăra oxiacetilenică, conform indicațiilor din fig.5.11.

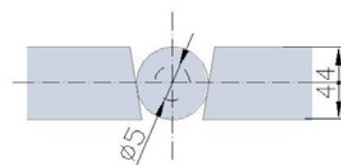


5.2.1.5.2-Prelevare epruvete tracțiune

Din metalul depus pe probele 2, 3 și 4 se prelevează câte o epruvetă de tracțiune rotundă conform STAS 200-75. Din proba 2, în cazul electrodului cu diametru 2,5 mm se prelevează două epruvete de tracțiune, iar din proba 5 se prelevează două epruvete de tracțiune conform fig.5.9



a)
Fig. 5.12



b)

5.2.1.5.3-Tratare epruvete tracțiune

Epruvetele pentru de tracțiune se supun tratamentului termic corespunzător.

5.2.1.5.4-Prelevare epruvete încercare la încovoiere prin șoc

Epruvetele pentru încercarea la încovoiere prin șoc se execută conform STAS 7511-73, pentru epruvete cu creștătura în V și STAS 1400 - 75, pentru epruvete cu creștătura în U, se prelevează conform fig.5.11 și fig.5.13.

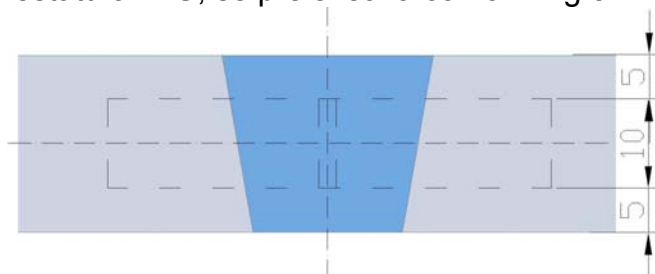


Fig. 5.13

5.2.2-EXECUTAREA LUCRARILOR

5.2.2.1-Încercarea de duritate

Încercarea de duritate se execută conform STAS 165 - 66 pentru durități până la 450 HB și conform STAS 492-78 pentru durități mai mari. La înțelegere, încercarea de duritate se poate executa și după STAS 493-67.

Măsurarea se execută în cel puțin cinci puncte așezate la o distanță de 10...15 mm unul de altul, determinând media aritmetică și valoarea maximă obținută.

5.2.2.2-Încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune se execută conform STAS 200-75. Pe o singură epruvetă se determină următoarele caracteristici mecanice:

- limita de curgere, (RC sau Rp 0,2)
- rezistența la rupere,
- alungirea la rupere,
- gătuirea la rupere

Limita de curgere tehnică la cald se determină conform STAS 6638 - 79.

5.2.2.3-Încercarea de încovoiere prin șoc

Încercarea de încovoiere prin șoc se execută conform STAS 7511 - 73, STAS 1400 - 75 și STAS 6833-79.

Se determină media aritmetică a valorilor obținute pe trei epruvete la temperatura $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ și pe șase epruvete pentru prima temperatură negativă, inclusiv pentru temperatura de 0°C , dacă în fișa tehnică a electrodului, în standardul de produs sau în documentația tehnică a metalului de adaos nu se indică alte date.

5.2.2.4-Tratarea rezultatelor nesatisfacatoare

Dacă rezultatele încercărilor sunt nesatisfăcătoare, se repetă încercările pe un număr dublu de epruvete.

Rezultatele încercărilor repetate se consideră definitive.

5.2.3-MENȚIUNE ÎN BULETINUL DE ÎNCERCARE

În buletinul de încercare se vor indica:

- marca și dimensiunile metalelor de adaos supuse încercărilor;
- tipul probei;
- regimul de sudare;
- tratamentul termic aplicat probei sau epruvetei;
- caracteristicile mecanice obținute în urma încercărilor ;
- eventualele defecte identificate;
- STAS 7356/1-80

5.3-DETERMINAREA COMPOZIȚIEI CHIMICE

5.3.1-GENERALITATI

5.3.1.1-Probe folosite

Pentru determinarea compoziției chimice se folosesc următoarele tipuri de probe sudate :

- metal depus pe placa,
- metal depus între plăci cu placă suport,
- îmbinări sudate cap la cap,
- îmbinări sudate în colț.

5.3.1.2-Condiții de execuție

Tipul probelor sudate și condițiile de execuție vor fi conform documentelor tehnico-normative de produs sau instrucțiunilor organizațiilor de supraveghere tehnică (ISCIR, RNR etc.)

5.3.1.3-Recomandări

În mod obișnuit pentru determinarea compoziției chimice a metalului depus, se recomandă folosirea probei cu metal depus pe placă.

În caz de litigiu se vor utiliza numai probe conform fig. 5.1. Dimensiunile plăcii și ale depunerii, conform tabelului 5.8 și fig. 5.12.

Tabelul 5.8

Dimensiuni în mm

Diametrul electrodului sau a sârmei d	Dimensiunile plăcii	Dimensiunile depunerii	Distanța minimă c	Lungimea pe care se fac determinările b
1,6 2 2,5	55 x 55 x 10	30 X 30 x 13	8	10
3,13 3,25 4 5	65 x 55 x 10	40 x 40 x 10	10	12
6 6,3 8,0	65 x 65 x 10	55 x 55 x 20	12	15

5.3.1.4-Condiții de depunere

Materialul de adaos se depune în cel puțin opt straturi, compuse din rânduri cu lățimea de 1,5...2,5 ori diametrul sârmei sau al electrodului, pe placă.

Suprafața fiecărui rând se curăță de zgură și de stropi metalici.

Regimul de sudare trebuie să corespundă cu cel prescris de producatorul materialelor de adaos, iar răcirea straturilor se va face conform documentelor tehnice normative de produs.

Intensitatea curentului trebuie să fie mai mare decât 70% din valoarea indicată de producator pentru sudare în poziție orizontală.

5.3.2-PRELEVAREA PROBELOR

5.3.2.1-Condiții de prelucrare

5.3.2.1.1-Prelevarea așchiilor

Așchiile pentru efectuarea analizei chimice se iau prin:

- frezare sau rabotare în cazul metalului depus pe placă și la sudurile cu grosimi sub 20mm;
- strunjire, în cazul când proba se prelevează din epruvetele pentru încercarea la tracțiune;
- găurire, în cazul îmbinărilor sudate cu grosimi mai mari sau egale cu 20mm.

5.3.2.1.1-1-Condiții de obținere a așchiilor

Duritatea sculei va fi de minimum 1,5 ori mai mare decât duritatea metalului depus prin sudare. Viteza și avansul sculei așchietoare se aleg astfel încât încălzirea propusă să nu coloreze așchiile în culoarea de revenire.

5.3.2.1.1.2-Condițiile termice de așchiere

În timpul așchierii se va evita folosirea mijloacelor de răcire (ulei, apă etc.).

Dacă totuși a fost necesară o răcire, așchiile obținute vor fi degresate (cu benzină și alcool, eter sau tetraclorură de carbon etc.) și uscate.

5.3.2.1.1.3-Dimensiunile așchiilor

Așchiile trebuie să fie subțiri (sub 0,4 mm) iar lungimea lor se recomandă să fie sub 10 mm.

Așchiile cu dimensiuni care trec prin sita nr. 20 conform STAS 1077-67 vor fi eliminate.

5.3.2.1.2-Condiții de prelevare

5.3.2.1.2.1-Zonele de prelevare

Așchiile se prelevează din acele zone ale metalului depus care nu conțin incluziuni solide (zgură, flux, metale străine). Acest lucru se verifică în prealabil prin control defectoscopic nedistructiv.

5.3.2.1.2.2-Prelucrare zonei de prelevare

În zonele din care se iau așchiile, se îndepărtează un strat superficial de 1..3mm grosime. La piesele sudate, cu grosime sub 3mm, se poate îndepărta un strat superficial cu grosimea sub 1mm, dacă aceasta condiție este admisă în documentele tehnice normative de produs.

5.3.2.1.2.3-Direcții de așchiere

Așchiile din probele de metal depus pe placă se prelevează după o direcție înclinată față de placa suport, conform fig.5.14, prin frezare sau rabotare.

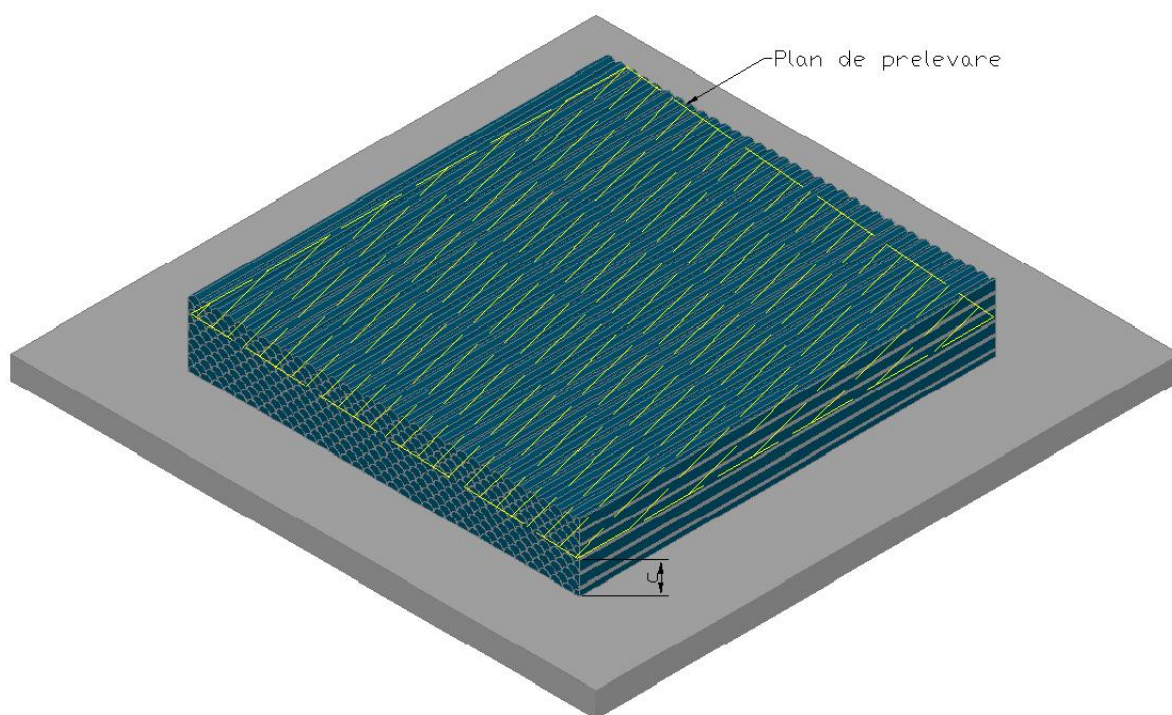


Fig.5.14

Distanța minimă (c) de la placa suport la planul de prelevare (fig.14) trebuie să fie conform tabelului 9 și să cuprindă cel puțin trei straturi de depunere.

OBSERVAȚIE: - La determinarea compoziției chimice a metalului depus cu electrozi sau sârme cu diametru de cel mult 3,15 mm se admite reducerea distanței "c" la 6mm, dacă în această porțiune sunt cuprinse cel puțin trei straturi de depunere.

5.3.2.1.2.4-Zonele de prelevare de pe epruvete

Așchiile din epruvetele folosite la încercarea de tracțiune se prelevează, prin strunjire numai din porțiunea calibrată care conține metalul depus.

Prelevarea așchiilor din îmbinări sudate cap la cap și în colț se execută prin frezare, găurire sau rabotare din zona îmbinării care conține numai metalul depus.

Zona aleasă trebuie să aibă o lungime de cel puțin 150 mm, fiind dispusă față de capătul cusăturii la o distanță, minimă conform tabelului 9.

Tabelul 5.9

Procedeu de sudare	Distanța minimă de la capătul cusăturii
Sudare cu gaz Sudare electrică în baie de zgură	15
Sudare electrică cu electrozi înveliți Sudare semiautomată în mediu de gaz protector cu electrozi fuzibili și nefuzibili Sudare cu plasmă	20

	Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006	
Sudare automată în mediu de gaz protector, cu electrozii fuzibili și nefuzibili Sudare electrică sub strat de flux	40	

5.3.2.1.2.5-Cantitatea de așchii prelevate

Masa așchiilor luate dintr-o probă trebuie să permită efectuarea tuturor analizelor și contra analizelor solicitate, asigurându-se pentru fiecare element cantitatea prescrisă, în standardele de analiză a elementelor respective.

5.3.2.1.2.6-Marcarea așchiilor prelevate

Așchiile prelevate se introduc într-un ambalaj care se sigilează și apoi se atașează o etichetă cu următoarele date :

- marcajul probei sudate;
- tipul sau marca, materialului de adaus;
- numărul lotului;
- semnătura și data celei care a luat proba.

5.3.2.2-Prelevarea probelor pentru analiză spectrală

5.3.2.2.1-Zonele de prelevare

Probele pentru analizele spectrale se prelevează prin așchiere din acele zone ale metalului depus care nu conțin incluziuni solide (zgură, flux, metale străine, pori sau fisuri). Acest lucru se verifică în prealabil prin controlul defectoscopic nedistructiv. Alegerea suprafeței pe care se efectuează analiza spectrală se specifică în documentele tehnico-normative de produs.

5.3.2.2.2-Condițiile asupra suprafeței epruvetei

Suprafața epruvetei care este supusă analizei spectrale va fi prelucrată prin așchiere și șlefuire, conform STAS 4203-71, cu următoarele precizări :

- nu se admite polizarea și lustruirea electrochimică,
- rugozitatea suprafeței șlefuite (R_a) trebuie să, fie de max. 0,8 μm .

Pe suprafața șlefuită nu se admit incluziuni, pori sau fisuri evidențiate la examinarea cu o lupă cu mărire de 10 ori.

5.3.2.2.3-Zonele de determinare în cazul metalului depus pe placa

La probele din metal depus pe placă, determinările se efectuează pe fața înclinată față de placa suport, conform fig. 5.14.

Pe această suprafață, într-o zonă pătrată cu diagonala egală cu b , se fac cinci determinări spectrale, una în centru și câte una în fiecare colț, conform fig. 5.16.

5.3.2.2.4-Zonele de determinare în cazul depunerii în îmbinări sudate

La probele din metalul depus în îmbinări sudate, determinările se fac pe o suprafață de min. 25 x 15 mm dispusă, în metalul de adaos, conform fig. 5.15 și orientate astfel:

- a) perpendicular pe axa longitudinală a sudurii, (probe cu fețe transversale),
- b) paralel cu axa longitudinală a sudurii, (probe cu fețe longitudinale),
- c) perpendicular pe axa transversală a sudurii, (probe cu fețe frontale).

Orientarea feței se specifică în documentele tehnico-normative de produs.

Pe aceste suprafețe, prelucrate prin șlefuire se fac cel puțin trei determinări spectrale (în locurile însemnate cu + din fig. 5.17), dacă documentele tehnico- normative pe produs nu prevăd altfel.

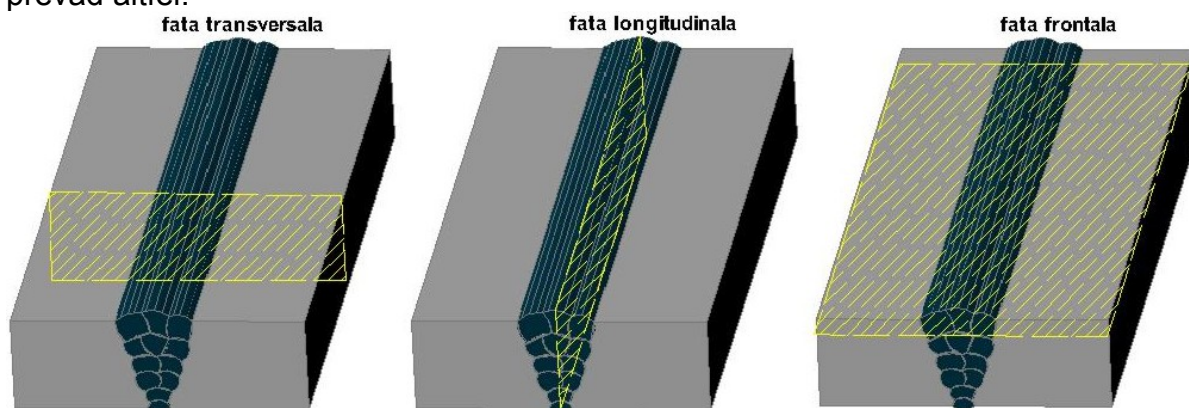


Fig.5.15

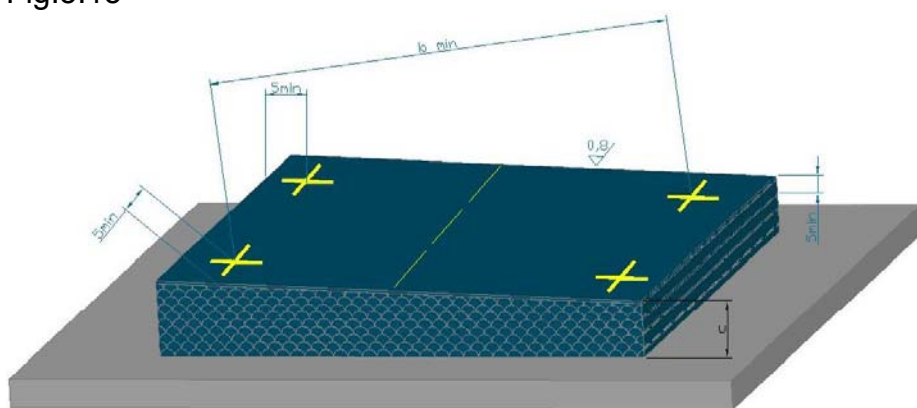


Fig. 5.16

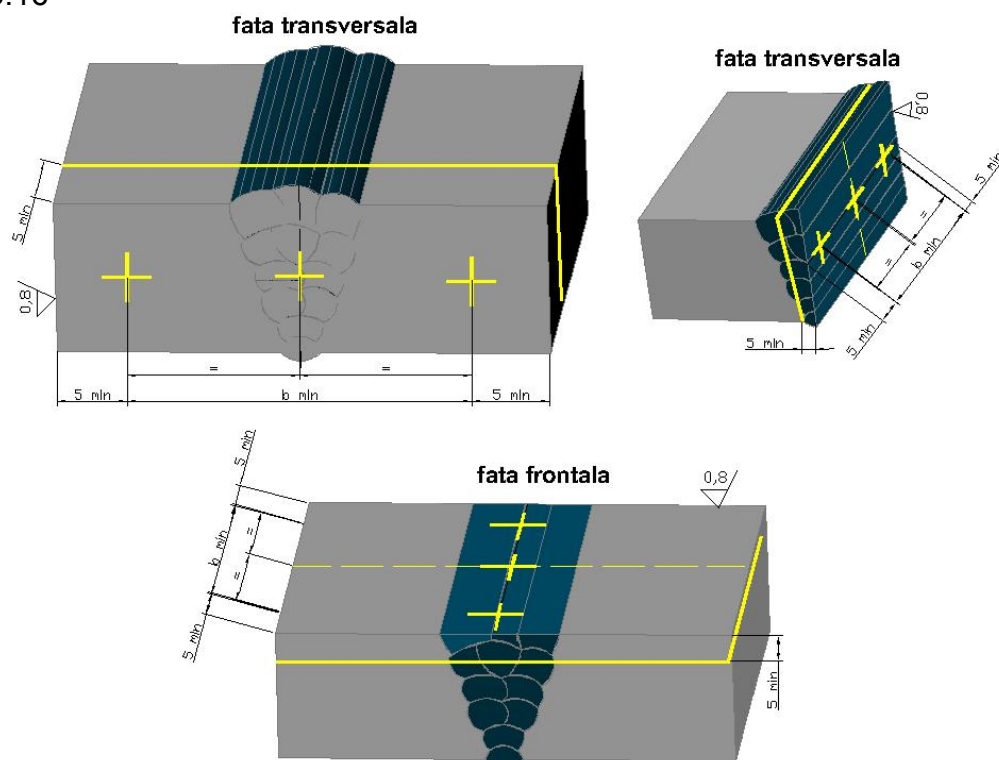


Fig. 5.17

5.4-DETERMINAREA CARACTERISTICILOR DE DEPUNERE

5.4.1-GENERALITATI

5.4.1.1-Domeniu de aplicare

Prezentul standard stabilește elementele și condițiile tehnice pentru determinarea caracteristicilor de depunere ale electrozilor înveliți pentru sudarea cu arc electric a metalelor. Caracteristicile de depunere ale electrozilor sunt:

- randamentul nominal,
- randamentul nominal efectiv,
- randamentul global,
- randamentul global efectiv,
- coeficientul de depunere.

5.4.1.2-Principiul determinării

Determinarea constă în executarea unei depuneri prin sudare pe o placă metalică, urmată de măsurarea directă a mărimilor necesare stabilirii caracteristicilor de depunere.

5.4.1.3-Condiții atmosferice

Determinarea se face în condițiile atmosferei ambiante de încercare conform STAS 6300-64

5.4.1.4-Definiții și simboluri

Conform tabelului 5.10.

Tabelul 5.10

Termen	Simbol	Definiție	Unitate de măsură
Masa plăcii de bază	m_{po}	Masa plăcii pe care se execută depunerea prin sudare	g
Masa electrozilor	m_{eo}	Masa totală a electrozilor care se folosesc pentru depunere prin sudare	g
Masa sârmei electrozilor	m_{so}	Masa totală a sârmei electrozilor care se folosesc pentru depunerea prin sudare	g
Intensitatea curentului de sudare	I_s	Media valorilor efective a intensității curenților de sudare pentru electrozii folosiți pentru depunere prin sudare	A
Timp de sudare	t	Timpul total de topire al electrozilor folosiți pentru depunere prin sudare	min
Masa probei	m_{pu}	Masa plăcii de bază cu metal depus prin sudare	g
Masa capetelor neconsumate ale	m_{en}	Masa totală a capetelor neconsumate ale electrozilor, după executarea	g

electrozilor		depunerii prin sudare	
Masa sârmei neconsumate din electrod	m_{sn}	Masa totală a sârmei din capetele neconsumate ale electrozilor, după executarea depunerii prin sudare	g
Masa metalului depus	m_D	Diferența dintre masa probei și masa plăcii de bază $= m_{pu} - m_{po}$	g
Randament nominal al electrodului	R_N	Raportul dintre masa metalului depus prin sudare și masa totală a sârmei din electrodul folosit $= (m_D / m_{s0}) * 100$	%
Randament nominal efectiv al electrodului	R_E	Raportul dintre masa metalului depus prin sudare și masa efectivă a sârmei topite din electrodul folosit $= (m_D / m_{sT}) * 100$	%
Randament global al electrodului	R_G	Raportul dintre masa metalului depus prin sudare și masa totală a electrodului folosit $= (m_D / m_{e0}) * 100$	%
Randament global efectiv al electrodului	R_D	Raportul dintre masa metalului depus prin sudare și masa consumată din electrodul efectiv folosit $= (m_D / m_{eT}) * 100$	%
Coeficient de depunere al electrodului	α_D	Raportul dintre masa metalului depus prin sudare și unitatea de curent, în unitatea de timp	$\frac{g}{A \cdot min}$
Masa sârmei topite	m_{sT}	$= m_{s0} - m_{sn}$	g
Masa electrodului topit	m_{eT}	$= m_{e0} - m_{en}$	g

$\alpha_T = (m_{sT} / I_s * t)$ (g/Amin) coef. de topire a electrodului

$\psi = 1 - \alpha_D / \alpha_T$ (g/Amin) coef. de pierderi:

- capete neconsumate
- împrôșcări
- arderi

$V_D = (m_D / t)$ (Kg/h) viteza de depunere

$V_T = (m_{sT} / t)$ (Kg/h) viteza de topire a electrodului

5.4.1.5-Notare

Pentru indicarea caracteristicilor de depunere simbolurile R_N ; R_E , R_G R_D și D vor fi urmate de simbolul corespunzător tipului curentului de sudare, conform tabelului 5.11.

Tabelul 5.11

Simbol	Tipul curentului
-	Curent continuu cu polaritate directă

+	Curent continuu cu polaritate inversă
~	Curent alternativ

Exemplu:

Randamentul nominal efectiv al electrodului, la sudare cu curent alternativ, de 98% se notează:

RE ~ = 98 %

5.4.2-CONDIȚII TEHNICE PENTRU DETERMINĂRI

5.4.2.1-Placa de bază

5.4.2.1.1-Placa de baza, material

Placa de bază se execută din metalul de bază pentru care sunt destinați electrozii.

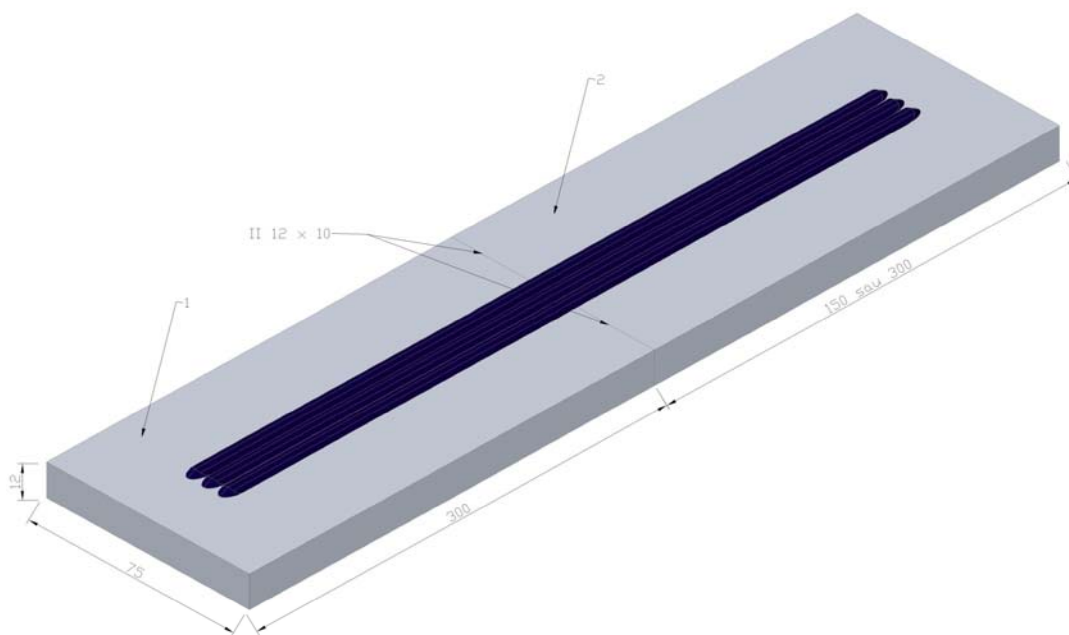
5.4.2.1.2-Placa de baza, dimensiuni

Placa de bază va avea forma și dimensiunile, în mm, conform figurii.

Dacă diametrul electrozilor este mai mare de 0 5 mm, sau lungimea lor depășește 450 mm, placa de bază trebuie prelungită cu o placă adițională. Placa adițională (figura) va avea grosimea și lățimea egale cu cele ale plăcii de bază, iar lungimea de 150 mm sau 300 mm. Asamblarea celor două plăci se realizează prin cusături de prindere provizorie.

5.4.2.1.3-Suprafața plăcii de baza

Suprafața plăcii de bază pe care se va realiza depunerea (și a plăcii adiționale, când este cazul), se curăță de oxizi, grăsimi, rugină, etc.



1 - Placă de bază

2 - Placă adițională

5.4.2.2-Electrozi

5.4.2.2.1-Număr de electrozi

Pentru fiecare diametru din marca electrozilor supuși determinării se folosesc la depunere câte 3 electrozi cu aceeași lungime.

5.4.2.2.2-Număr de electrozi, pentru electrozi sub 100g

Dacă masa sârmei electrozilor este mai mică de 100 g, depunerea se execută cu 5 electrozi.

5.4.2.2.3-Electrozi cu înveliș hidroscopic

Electrozii cu înveliș higroscopic trebuie să fie uscați înaintea executării depunerii, conform indicațiilor producătorului.

5.4.2.2.4-Marcare electrozi

Pe suprafața învelișului electrozilor se marchează, cu un semn, distanța de 50 ± 1 mm față de capătul de prindere în portelectrod.

5.4.2.3-Surse de curent

5.4.2.3.1-Felul curentului de sudare

Sursele de curent pentru sudare se aleg în funcție de felul curentului indicat de producătorul electrozilor.

5.4.2.3.2-Alegerea între curentul AC sau DC

În cazul în care se indică folosirea curentului continuu și a celui alternativ, cu indicația preferențială a curentului continuu, se va utiliza o sursă de curent continuu.

5.4.2.3.3-Alegerea între curentul AC sau DC când nu sunt specificații

În cazul în care se indică folosirea curentului continuu și a celui alternativ, fără nici o indicație preferențială, se va utiliza un transformator pentru sudare cu următoarele caracteristici:

- tensiunea de mers în gol trebuie să nu fie mai mare cu mai mult de 10V decât tensiunea minimă de stabilitate a arcului la sudare, pentru marca electrodului respectiv;
- factorul de formă kF trebuie să corespundă funcționării transformatorului în scurtcircuit, între limitele:

$$1,11 < kF < 1,20$$

în care:

valoarea efectivă a curentului alternativ

$$kF = \frac{\text{valoarea efectivă a curentului alternativ}}{\text{valoarea medie a curentului alternativ}}$$

OBSERVAȚIE. - Factorul de formă kF se determină prin folosirea a două ampermetre legate în serie, dintre care unul cu gradații în valori efective (de exemplu

de tip feromagnetic sau termic), iar celălalt cu gradații în valori medii (de exemplu de tip magneto-electric cu redresor).

5.4.3-EXECUTAREA DETERMINĂRII

5.4.3.1-Depunerea prin sudare

5.4.3.1.1-Condiții de depunere

Depunerea se execută prin sudare în poziție orizontală, în rânduri paralele. Fiecare electrod se folosește, fără întreruperea arcului, până la topirea sa în dreptul semnelor marcate pe înveliș conform pct. 4.2.2.4.

5.4.3.1.2-Valoare curentului pentru sudarea în poziția orizontală

Curentul de sudare trebuie să aibă o valoare cu 10% mai mică decât valoarea maximă prescrisă de producător pentru sudare în poziție orizontală.

În cazul folosirii curentului continuu, electrodul se va folosi cu polaritatea indicată de producătorul electrozilor.

5.4.3.1.3-Condiții de răcire între straturi

După fiecare trecere, proba se poate răci în apă și apoi uscată înainte de reînceperii sudării. Zgura și stropii de metal aderenți pe placă se îndepărtează după depunerea fiecărui rând de sudură. Temperatura între două depuneri nu va depăși 100°C.

5.4.3.2-Măsurarea mărimilor pentru calcul

5.4.3.2.1-Mărimi determinate înainte de executare

Înainte de executare depunerii prin sudare se determină următoarele mărimi:

- masa plăcii de bază;
- masa electrozilor;
- masa sârmei electrozilor.

Masa sârmei se determină prin curățirea învelișului de pe un număr de vergele egal cu cel ce va fi folosit la sudare, făcând parte din aceeași probă prelevată pentru determinare.

5.4.3.2.2-Mărimi determinate în timpul procesului de sudare

În timpul executării depunerii prin sudare se determină următoarele mărimi:

- curentul de sudare;
- timpul de sudare.

5.4.3.2.3-Mărimi determinate în timpul procesului de sudare

După executarea depunerii prin sudare se determină următoarele mărimi:

- masa probei;
- masa capetelor neconsumate din electrozi;
- masa sârmei neconsumate din electrozi. Această masă se determină prin curățirea învelișului de pe capetele neconsumate din electrozi și cântărirea vergelelor rămase.

5.4.3.2.4-Precizia mărimilor măsurate

Precizia măsurărilor trebuie să fie în limitele indicate în tabelul 5.12.

Tabelul 5.12

Mărimea măsurată	Unitatea de măsură	Precizia de măsurare
Masă	S	±1
Timp	min	±0,005 (±0,3 s)
Intensitate a curentului electric	A	ampermetru cu clasa de precizie cel puțin 2,5

5.4.3.3-Calculul caracteristicilor de depunere

5.4.3.3.1-Calculul masei metalului depus

Masa metalului depus se calculează cu relația:

$$m_D = m_{pu} - m_{po} \quad [g]$$

5.4.3.3.2-Randamentul nominal al electrodului

Randamentul nominal al electrodului se calculează cu relația:

$$RN = m_D / m_{os} \cdot 100 \quad [\%]$$

5.4.3.3.3-Randamentul nominal efectiv al electrodului

Randamentul nominal efectiv al electrodului se calculează cu relația:

$$RE = m_D / (m_{so} - m_{ns}) \cdot 100 \quad [\%]$$

5.4.3.3.4-Randamentul global al electrodului

Randamentul global al electrodului se calculează cu relația:

$$RG = m_D / m_{e0} \cdot 100 \quad [o/o]$$

5.4.3.3.5-Randamentul global efectiv al electrodului

Randamentul global efectiv al electrodului se calculează cu relația:

$$RD = m_D / (m_{e0} - m_{ep}) \cdot 100 \quad [\%]$$

5.4.3.3.6-Coeeficientul de depunere al electrodului

Coeeficientul de depunere al electrodului se calculează cu relația:

$$D = m_D / (I_s \cdot t) \quad [g/A \cdot min]$$

5.4.3.3.7-Rotunjirea rezultatelor

Rezultatele calculului se rotunjesc astfel:

- pentru randamente, la valori întregi;
- pentru coeficientul de depunere, la valori întregi cu două zecimale.

5.4.4-MENȚIUNI ÎN BULETINUL DE ÎNCERCARE

În buletinul de încercare se va indica:

- marca, diametrul și lungimea electrozilor folosiți,
- marca metalului de bază,

- felul, polaritatea și mărimea curentului de sudare,
- caracteristicile de depunere determinate,

5.5-DTERMINAREA PATRUNDERII

5.5.1-PREGĂTIREA PROBELOR

5.5.1.1-Proba 1

Depunerea pe placă a unui singur rând de metal de adaos.

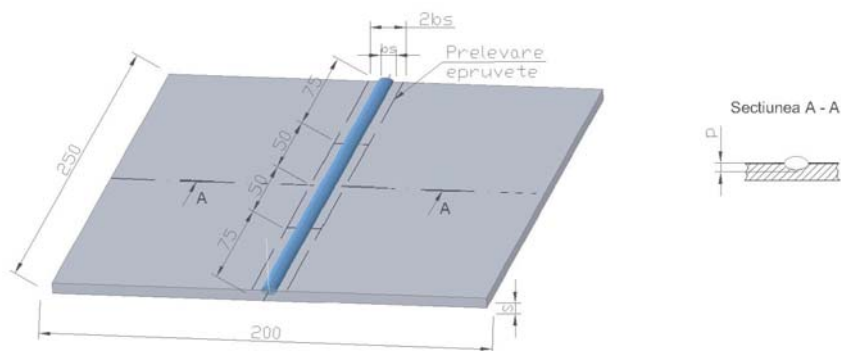


Fig. 5.18

Proba se folosește pentru determinarea pătrunderii “ p ” la sudarea cu arc electric cu electrozi înveliți sau neînveliți. Forma și dimensiunile probei trebuie să fie conform fig.5.18. Placa de bază se execută din același metal ca cel pentru care este destinată marca metalului de adaos indicată în standardul sau fișa tehnică, Grosimea plăcii se alege din tabel 5.13, funcție de tipul și diametrul metalului de adaos folosit “ d ”.

Tabelul 5.13

Tipul metalului de adaos	Grosimea plăcii s (mm)
Electrozi înveliți	$3 d \pm 1$
Sârma pentru sudare sub flux	$5 d \pm 2$
Sârma pentru sudarea în CO_2	$8 d \pm 1$

Regimul de sudare trebuie să corespundă celui prescris de producătorul metalului de adaos respectiv; se recomandă folosirea intensității maxime a curentului de sudare prescris. Depunerea metalului se execută într-un singur rând, în poziție orizontală. Unghiul de înclinare al electrozilor față de placa de bază este de $80...90^\circ$ la sudarea înainte.

5.5.1.2-Proba 2

Îmbinare cap la cap sau în colț, sudată dintr-o parte sau din ambele părți. Proba se folosește pentru determinarea pătrunderii “ p ” realizate cu o anumită tehnologie de sudare cu arc electric.

Forma și dimensiunile probei sunt date în figurile 5.19 și 5. 20.

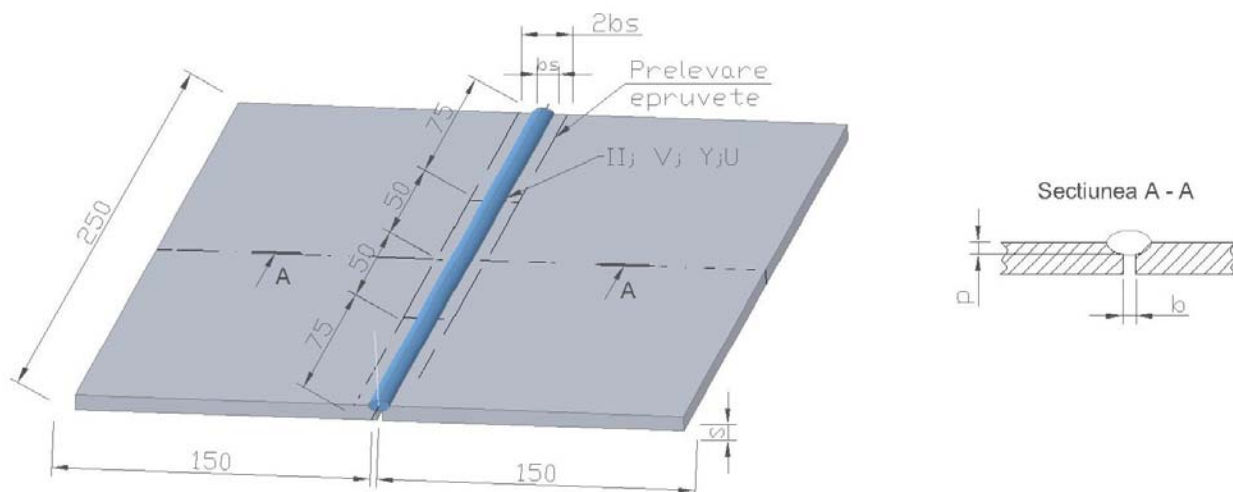


Fig. 5.19

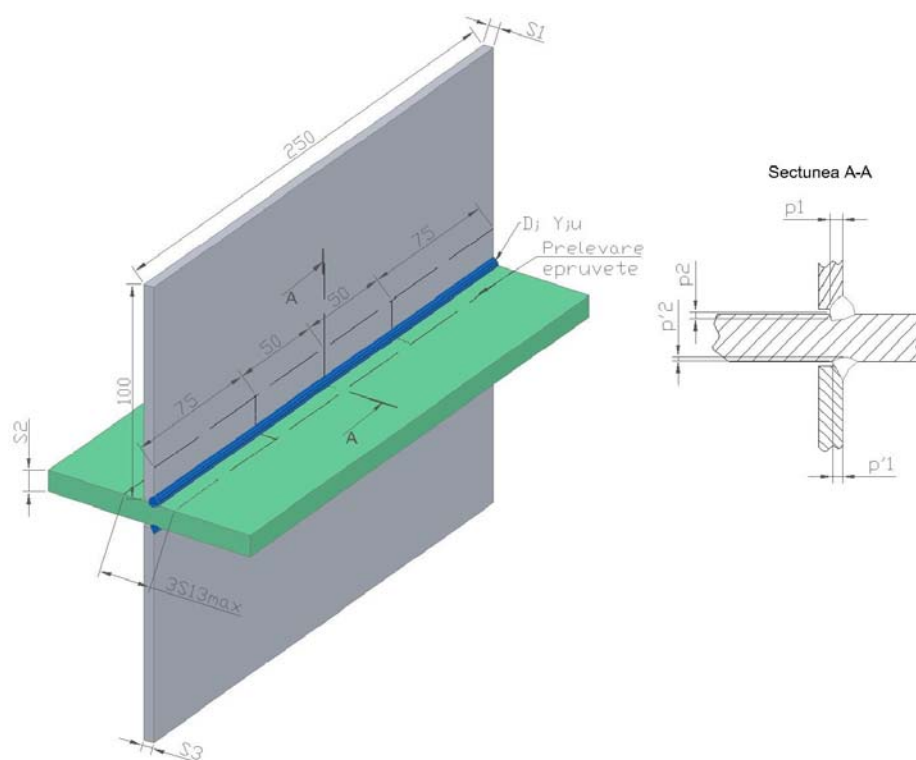


Fig. 5.20

Plăcile de baza utilizate se debitează prin procedee mecanice sau termice. Marginile care urmează a fi sudate se prelucrează mecanic. În cazul tăierii termice a marginilor, se va prevedea în mod obligatoriu un adaos egal cu grosimea produsului, dar nu mai mic de 5 mm; adaosul se va îndepărta prin aşchiere.

Sudurile de prindere provizorie a plăcilor se execută numai la capetele probei, pe o lungime de cel mult 20 mm.

5.5.2-PRELUCRAREA EPRUVETELOR

5.5.2.1-Modul de secționare

Probele sudate se secționează prin tăiere mecanică, transversal pe axa longitudinală a sudurii, prelevându-se câte două epruvete din partea centrală a probei.

5.5.2.2-Pregătirea epruvetelor

Suprafețele cu sudură ale epruvetelor se pregătesc conform STAS 4203-74 pentru examinarea macroscopică. Secțiunea mediană A- A de tăiere a probelor din fig. 19 și fig. 20 se pregătește numai la o singură epruvetă.

5.5.2.3-Evidențierea zonei topite

Evidențierea conturului zonei topite din metalul de bază se obține printr-un atac chimic adecvat.

5.5.3-DETERMINAREA PATRUNDERII

5.5.3.1-Cazul epruvetelor cu sudura pe o singura parte

În cazul probelor sudate dintr-o singură parte, pe fiecare epruvetă se măsoară cu o precizie de 0,1 mm adâncimea de topire “ p ” (fig. 5.18 sau 5.19), respectiv p_1 , p_2 , p'_1 , p'_2 (fig.5.20).

Pătrunderea se determină prin media aritmetică a adâncimilor de topire măsurate în aceeași placă, în cele trei secțiuni examinate. La sudurile în cruce se determină medii separate pentru fiecare cusătura.

Pătrunderea se consideră adâncă, dacă în secțiunile examinate valoarea adâncimii de topire $p > 4$ mm.

Dacă între valorile adâncimilor de topire sunt diferențe mai mari de 1 mm, mediile aritmetice nu se consideră semnificative. În acest caz se specifică în buletinul de încercare valorile maxime și minime măsurate.

5.5.3.2-Cazul epruvetelor cu sudura pe ambele părți

În cazul probelor sudate din ambele părți, pe fiecare epruvetă se examinează grosimea porțiunii topite a metalului de bază (fig. 5.21).

Pătrunderea se consideră completă dacă în secțiunile examinate este realizată topirea metalului de bază în toată grosimea.

Pătrunderea se consideră incompletă dacă în secțiunile examinate nu este realizată topirea metalului de bază în toată grosimea.

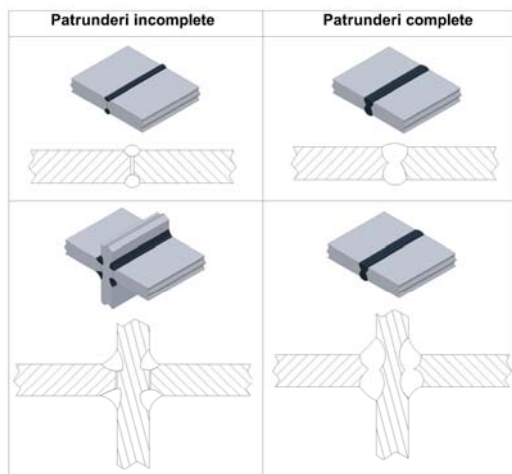


Fig. 5.21

5.5.4-MENȚIUNI ÎN BULETINUL DE ÎNCERCARE

În buletinul de încercare se indică:

- tipul probei (poziția de sudare, forma și dimensiunile rostului);
- placa de bază (marca metalului, dimensiunile);
- metalul de adaos (marca, diametrul etc.);
- regimul de sudare;
- valoarea (valorile) pătrunderii la sudarea dintr-o singură parte sau calificativul „pătrundere completă” sau „pătrundere incompletă”, la sudarea din ambele părți;
- eventualele defecte identificate;
- STAS 9759-74.

5.6 - DETERMINAREA COMPATIBILITĂȚII MATERIALELOR DE SUDARE

5.6.1-PREGATIREA PROBELOR

5.6.1.1-Forma și dimensiunile probelor

5.6.1.1.1-Probe pentru determinarea compatibilității

Probele pentru determinarea compatibilității electrozilor cu diametrul vergelei de 3,25 , 4 sau 5mm se execută din table sudate cap la cap conform fig. 5.22 sau din țevi sudate cap la cap conform fig. 5.23. Pentru electrozi cu diametrul vergelei de 2 sau 2,5mm se recomandă probe din table sudate cap la cap conform fig. 5.20, dar cu grosimea de 2...4mm, din care se prelevează epruvete pentru încercarea la tracțiune, îndoire și pentru determinarea durtății

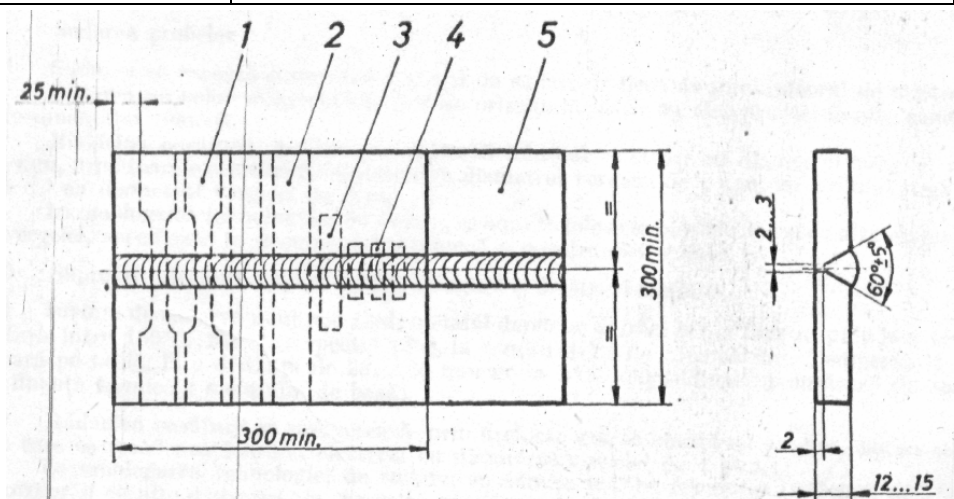


Fig. 5.22

1 – epruvete pentru încercarea la tracțiune; 2 - epruvete pentru încercarea la îndoire; 3 - epruvete pentru încercarea de duritate; 4 - epruvete pentru încercarea la încovoiere prin șoc; 5 - rezervă pentru contraprobe.

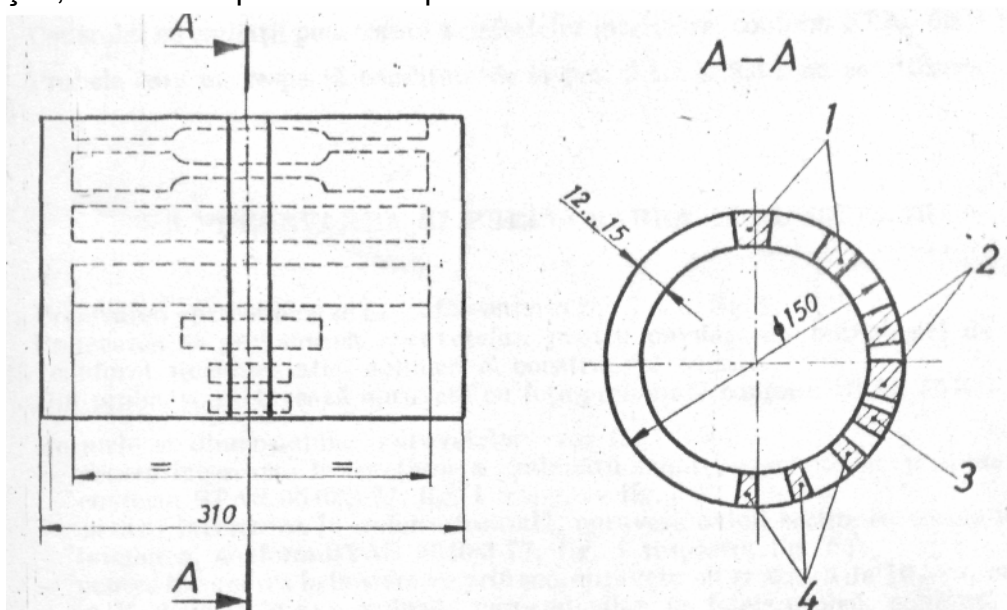


Fig. 5.23

1 - epruvete pentru încercarea la tracțiune; 2 - epruvete pentru încercarea la îndoire; 3 - epruvete pentru încercarea de duritate; 4 - epruvete pentru încercarea la încovoiere prin șoc.

5.6.1.1.2-Probe pentru omologare

Probele pentru determinarea compatibilității executate la omologarea tehnologiei de sudare, se stabilesc prin documentația tehnică a construcției sudate.

5.5.6.1.1.3-Prelucrări pentru table sau țevi

Capetele tablelor sau țevelor înainte de sudare se prelucrează prin așchiere sau tăiere termică. În caz de litigiu prelucrarea se execută prin așchiere.

6.1.1.4-Abateri de planietate

Abaterile de planietate și de aliniere a elementelor din probele sudate din table, conform STAS 5540/1-77.

Abaterile limita la dimensiunile cusăturii (lățime și grosime), conform STAS 9101-77, clasa de abateri mijlocie, dacă nu se specifică alte abateri în documentația tehnică a construcției sudate.

5.6.1.2-Sudarea probelor

5.6.1.2.1-Regimul de sudare

Sudarea se execută respectând regimul de sudare indicat de producătorul de electrozi.

Sudarea probelor se execută în poziție orizontală, dacă nu sunt prevăzute alte condiții în documentația tehnică.

Rădăcina cusăturii probei se realizează folosind electrozi cu diametrul vergelei de 3,25mm, următoarele straturi cu electrozi cu diametrul vergelei de 4mm, iar ultimul strat cu electrozi cu diametrul vergelei de 5mm.

La omologarea tehnologiilor de sudare, se admite folosirea electrozilor și cu alte diametre ale vergelei, specificate în documentația tehnică a construcției sudate.

5.6.1.2.2-Starea suprafețelor

Suprafața fiecărui rând se curăță de zgură și de stropi metalici.

5.6.1.1.3-Condiții de temperatură

Înainte de sudarea unui nou rând, metalul depus se va răci în aer liniștit, până la o temperatură între 150°...250°, respectiv pînă la temperatura de preîncălzire. Temperatura se măsoară pe tablă, la o distanță de 20...30mm de la axa longitudinală a cusăturii (în zona de influență termică a metalului de bază).

5.6.1.2.4-Condiții de prelucrare

Rădăcina cusăturii se prelucurează prin așchiere sau se curăță cu arc-aer, ciocan, etc., după care se resudează folosind electrozi cu diametrul de 4mm.

La omologarea tehnologiei de sudare, se admite pentru resudarea rădăcinii, folosirea electrozilor și cu alte diametre ale vergelei, specificate în documentația tehnică a construcției sudate.

5.6.1.2.5-Tratamente termice

Probele pot fi supuse unor tratamente termice, conform documentației tehnice a construcției sudate. Dacă este indicat tratamentul termic de dehidrogenare, acesta se execută într-un cuptor electric de 250 °C, timp de 6...16h.

5.6.1.3-Controlul probelor sudate

5.6.1.3.1-Defecte

Defectele apărute, defecte exterioare și interioare ale cusăturii, conform

STAS 9398-73, clasa de execuție II, dacă nu se specifică altfel în documentația tehnică a construcției sudate.

5.6.1.3.2-Controlul nedistructiv

Controlul cu radiații penetrante a defectelor interioare, conform STAS 6606-75.

5.6.1.3.3-Probe respinse pentru testare

Probele care nu respecta condițiile de la pct. 6.1.1.4, 6.1.3.1 nu se utilizează pentru încercări.

5.6.2-PRELEVAREA ȘI PRELUCRAREA EPRUVETELOR

5.6.2.1-Condiții de execuție

Prelevarea epruvetelor se execută conform fig. 20 sau fig. 21.

Prelevarea și prelucrarea epruvetelor, pentru omologarea tehnologiei de sudare, se execută conform documentației tehnice a construcției sudate.

Din probe, se prelevează epruvete cu fețe prelucrate conform STAS 5540/1-77.

5.6.2.2-Formele și dimensiunile probelor

Formele și dimensiunile epruvetelor vor fi:

- pentru încercarea la tracțiune a îmbinării sudate, epruvete cu porțiune calibrată, conform STAS 5540/2-77;
- pentru încercarea la îndoire frontală, epruvete având secțiunea constantă pe toată lungimea, conform STAS 5540/3-77;
- pentru încercarea la încovoiere prin șoc, epruvete cu grosimea de 10 mm, cu creștătură în V, dispusă în axa sudurii, perpendicular pe fețele probei, conform STAS 5540/4-77;
- pentru încercarea de duritate, epruvete plate, cu lățimea de cel puțin 5 mm, cuprinzând, întreaga secțiune transversală a îmbinării sudate, conform STAS 6540/5-77.

5.6.2.2.1-Controlul nedistructiv

Controlul cu radiații penetrante a defectelor interioare, conform STAS 6606-75.

5.6.2.2.2-Probe respinse pentru testare

Probele care nu respectă condițiile de la pct. 6.1.1.4 și 6.1.3.1 nu se utilizează pentru încercări.

5.6.3-EXECUTAREA ÎNCERCĂRILOR

5.6.3.1-Încercarea la tracțiune

Încercarea la tracțiune se execută conform STAS 5540/2-77, pe două epruvete, determinându-se media aritmetică a valorilor obținute.

5.6.3.2-Încercarea la îndoire frontală

Încercarea la îndoire frontală se execută conform STAS 5540/3-77, pe două epruvete, determinându-se media aritmetică a valorilor obținute.

5.6.3.3-Încercarea la încovoiere prin șoc

Încercarea la încovoiere prin șoc se execută conform STAS 5540/4-77. Se determină media aritmetică a valorilor obținute pe trei epruvete pentru temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, și pe șase epruvete pentru orice temperatură negativă, inclusiv 0°C .

5.6.3.4-Încercarea de duritate

Încercarea de duritate se execută conform STAS 5540/5-77, pe o epruvetă.

5.6.3.5-Omologarea tehnologiei de sudare

Pentru homologarea tehnologiei de sudare, prin documentația tehnică a construcției sudate se poate prevedea un alt număr de epruvete.

5.6.3.6-Probe respinse pentru testare

Dacă rezultatele încercărilor nu sunt corespunzătoare, încercările se repetă pe un număr dublu de epruvete.

Rezultatele încercărilor repetate se consideră definitive.

5.6.4-MENȚINUNI ÎN BULETINUL DE ÎNCERCARE

Se vor indica :

- forma și dimensiunile epruvetei;
- tratamentul termic aplicat - caracteristicile mecanice determinate;
- cristalinitatea și fibrozitatea rupturii, conform STAS 10026-75 (la cerere);
- defectele identificate;
- numărul prezentului standard.

ANEXE

Acest exemplar este difuzat în regim **CONTROLAT**
INFORMATIV

NOTĂ:

1. Prezenta procedură de lucru este destinată utilizării exclusive pentru propriile cerințe.
2. Utilizarea integrală sau parțială a acestei proceduri în orice scop sau activitate sau reproducerea parțială / integrală în orice publicație și prin orice procedeu (electronic, mecanic, fotocopiare, microfilmare, etc.) este interzisă fără acordul scris al autorului / elaboratorului.

NOTE EXPLICATIVE

1. Toate paginile acestei proceduri aparțin ediției menționate pe pagina de gardă.
2. Procedura este supusă reviziilor parțiale, ori de câte ori este cazul.
3. Revizia aplicabilă este cea menționată pe fiecare pagină în parte și în cadrul "indicatorului reviziilor".
4. Data reviziei reprezintă data de aplicare a respectivei revizii.
5. Difuzarea în regim controlat a procedurii și a fiecărei revizii se face pe bază de listă de difuzare, listă aprobată concomitent cu aprobarea procedurii.
6. Listele de difuzare se gestionează de către responsabilul calității și nu se anexează la exemplarele de lucru ale procedurii.
7. Indicatorul reviziilor se ține la zi, se gestionează de către responsabilul calității și nu se anexează la exemplarele de lucru ale procedurii.

LISTA DE DIFUZARE

Compartiment	Numele și prenumele	Semnătura	Data
Universitatea Politehnica Bucuresti	Ionelia VOICULESCU		
Universitatea Dunarea de Jos Galati	Emil CONSTANTIN		
TEHNOMAG SA Cluj Napoca	Radu VASIU		
SUDOTIM AS Timisoara	Horia BINCHICIU		
ICEPRONAV Galati	Gheorghe TUDOR		

INDICATORUL REVIZIILOR

Ediția	Revizia	Numărul paginii/paragraful revizuit	Numele și prenumele persoanei care a introdus modificările în procedură	Semnătura	Data revizuirii

CUPRINS

Nr. crt.	Denumirea capitolului	Pagina
	Pagina de gardă	1
	Note explicative	2
	Indicatorul reviziilor	3
	Cuprins	4
1	Scop	5
2	Domeniul de aplicare	5
3	Documente de referință	5
4	Termenii folosiți și definițiile acestora	6
5	Abrevieri	6
6	Responsabilități	6
7	Echipamente de încercare	6
8	Condiții de mediu	7
9	Măsuri preventive	7
10	Reguli de procedură	7
11	Înregistrările calității	10
12	Difuzarea procedurii	10
13	Anexe	10

1. SCOP

Prezenta procedură are drept scop stabilirea metodologiei de execuție corectă a unei examinări ultrasonice, pentru a depista discontinuitățile interne (retasuri, goluri, crăpături, fulgi, incluziuni, nepătrunderi etc.) care se găsesc în cusătură sau pe zonele marginale și pentru a reduce, pe cât posibil, incertitudinea de detectare.

2. DOMENIUL DE APLICARE

Procedura se aplică la controlul depunerilor sudate prin topire cu electrod învelit care, în prealabil, au fost supuse sau nu tratamentelor termice și ale căror eventuale defecte constatate prin control vizual au fost remediate.

3. DOCUMENTE DE REFERINȚĂ

- 3.1. Manualul calității laboratorului de defectoscopie, MC-D-01.
- 3.2. *Procedura generală pentru structura conținutului unei proceduri de management și asigurarea calității în execuția încercărilor, PG-D-01.*
- 3.3. *STAS 6914-75 Defectoscopie ultrasonică. Terminologie.*
- 3.3. STAS 9552-87 Controlul ultrasonic al îmbinărilor sudate cap la cap prin topire.
- 3.4. STAS 7048/1-81 Defectele îmbinărilor sudate prin topire.
- 3.5. STAS 7802/1-79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor.

Condiții tehnice de calitate.

- 3.6. STAS 7802/2-79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor. Bloc de calibrare A1.
- 3.7. STAS 7802/3-79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor. Bloc de calibrare A2.
- 3.8. STAS 7802/4-79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor. Bloc de calibrare A3.
- 3.9. STAS 7802/5-79 Blocuri de calibrare pentru verificarea și reglarea defectoscoapelor. Bloc de calibrare A4.
- 3.10. STAS 12505-86 Metode de apreciere a mărimii discontinuităților.
- 3.11. STAS R 12500/2-87 Etalonarea și reglarea defectoscoapelor ultrasonice.
- 3.12. STAS R 12500/3-87 Metode de verificare în exploatare a defectoscoapelor ultrasonice.

4. TERMENII FOLOSIȚI ȘI DEFINIȚIILE ACESTORA

- 4.1. **Procedură**: mod specific de a executa o activitate (definiția 1.3. din SR ISO 8402).
- 4.2. **Înregistrare**: document care furnizează dovezi obiective ale activităților efectuate sau ale rezultatelor obținute (definiție 3.15 din SR ISO 8402).
- 4.3. **Produs**: rezultat al activităților sau proceselor (definiție 1.4. din SR ISO 8402), în cazul de față obiectul supus examinării.
- 4.4. Termenii specifici controlului ultrasonic și definițiile acestora se regăsesc în STAS 6914-75.

5. ABREVIERI

5.1. U.S.: ultrasunete

6. RESPONSABILITĂȚI

6.1. **Responsabilul calității** răspunde de implementarea prezentei proceduri în activitatea laboratorului de defectoscopie, de cunoașterea acesteia de către cei care efectuează examinarea, semnând la rubrica "**Verificat**" de pe coperta prezentei proceduri.

6.2. **Șeful de laborator** supraveghează întreaga activitate din laborator, corectitudinea efectuării examinării prin perspectiva prezentei proceduri și a instrucțiunilor de lucru privind utilizarea aparaturii. Acesta confirmă corectitudinea rezultatelor finale și își asumă responsabilitatea pentru raportul / buletinul de examinare și data emiterii acestuia, semnând la rubrica "**Aprobat**".

6.3. **Șeful entității "Defectoscopie"** supraveghează personalul operator care execută încercarea și verifică însușirea de către acesta a prevederilor prezentei proceduri, își asumă responsabilitatea pentru rezultatele parțiale, urmărește modul în care se face arhivarea înregistrărilor și semnează raportul / buletinul de examinare la rubrica "**Verificat**". Lui îi revine sarcina determinării gradului de precizie și a incertitudinii de măsurare.

6.4. **Inginerul / tehnicianul operator** efectuează examinarea conform procedurii prezente, pe care și-a însușit-o în prealabil. El înregistrează rezultatele examinării și semnează raportul / buletinul de examinare la rubrica "**Elaborat**".

7. ECHIPAMENTE DE ÎNCERCARE

7.1. Defectoscoape.

7.2. Palpatoare.

LISTA ECHIPAMENTELOR

Nr. crt.	Număr de inventar	Denumire echipament-producător	Tip / caracteristici	Seria
1		Defectoscop INCO		542/1986
2	514038	Defectoscop KRÄUTKRAMER	UL 345 / 110 ÷ 240 V	25690 – 1607
3	515099	Defectoscop KRÄUTKRAMER	USMB 2 20160	5512
4		Defectoscop SONATEST	Sitescan 230	2300007
5		Defectoscop KRÄUTKRAMER	USD 10	

8. CONDIȚII DE MEDIU

Nu sunt necesare condiții speciale de mediu.

9. MĂSURI PREVENTIVE

9.1. Toată aparatura va fi protejată de acțiunea prafului prin folosirea huselor, a cutiilor și a truselor pentru păstrarea accesoriilor.

9.2. Întrucât tensiunile de lucru din interiorul defectoscopului depășesc **10.000 V** se va verifica, în prealabil, dacă aparatul este protejat prin legătură la pământ sau prin priza de alimentare. Se va semnala, **imediat**, orice defecțiune a instalației electrice.

10. REGULI DE PROCEDURĂ

10.1. ACȚIUNI PREALABILE EXECUȚIEI ÎNCERCĂRII

10.1.1. Modul de analiză, acceptare, comunicare către client, înregistrare și repartizare a comenzilor de încercare corespund prevederilor procedurii generale PG-D-02. După acceptarea comenzii trimise de către client, fiecare produs se marchează cu vopsea / poanson / etichetă adezivă. Marcajul va cuprinde numărul comenzii și numărul produsului dacă acesta aparține unui lot.

10.1.2. Produsele primite pentru examinare sunt păstrate cu grijă pe rafturi sau în cutii speciale și sunt manipulate cu grijă spre a nu se deteriora. După efectuarea încercării, ele vor fi expediate clientului în perfectă stare.

10.1.3. Modul de verificare a funcționării echipamentelor de încercare / măsurare și punerea în funcțiune a acestora corespund procedurii generale PG-D-03 și standardelor STAS 12500-87, STAS 7802-79, STAS 8866-72, STAS 12671-88.

10.2. MODUL DE LUCRU

10.2.1. Se revăd condițiile tehnice din STAS 9552-74.

10.2.2. Controlul metalului de bază.

Se folosește tehnica de examinare prin metoda impulsului reflectat cu ecouri repetate, utilizând palpatoare normale.

Se examinează metalul de bază în zonele marginale care urmează să fie sudate, înainte de șanfrenare, în scopul verificării calității stabilite de comun acord cu beneficiarul.

Dacă se constată defecte, influența lor asupra examinării cusăturii sudate trebuie luată în considerare, iar metoda de examinare trebuie aleasă astfel încât să se asigure un control eficient.

Frecvența de examinare va fi cuprinsă în domeniul $1,0 \div 6,0$ MHz și va fi aleasă cât mai mare posibil, asigurându-se și condițiile de transmisie corespunzătoare a fasciculului de unde ultrasonice.

Mărimea palpatorului se alege astfel încât suprafața de emisie sau de recepție a cristalului să nu depășească 500 mm^2 , iar nici una din dimensiuni să nu depășească 25 mm.

Cuplantul trebuie să asigure un transfer corespunzător al energiei acustice între palpator și piesă și trebuie să fie format dintr-un lichid sau o pastă cu proprietăți adecvate (uleiuri minerale, vaselină, soluție de zahăr, pastă de celuloză etc.).

Materiale recomandate pentru cuplant:

- glicerină, apă, ulei tip M20 STAS 751-70, amestec glicerină - apă (50%), pentru suprafețe curat prelucrate;

- ulei neaditivat T140 tip II STAS 387-71, pentru suprafețe cu prelucrare medie;
- unsori consistente tip U75Ca2, 85Ca3, U100Ca4 STAS 562-71, RUL100Ca3, RUL145Na3, RUL165Na4 STAS 1608-72, pentru suprafețe slab prelucrate.

Zona de examinare va fi împărțită în fișii paralele cu axa îmbinării sudate, începând de la marginea îngroșării, până la limita maximă de deplasare a palpatorului înclinat pentru controlul îmbinării sudate.

Examinarea se face sistematic, dintr-o parte în alta a suprafeței, astfel încât nici o porțiune să nu rămână neexplorată.

10.2.3. Detectarea și localizarea defectelor sudurii.

10.2.3.1. Se stabilesc tehnicile de examinare în funcție de configurația și dimensiunile cusăturii sudate:

- examinare cu incidență normală ;
- examinare cu incidență oblică ;
- examinare în sistem tandem.

Condițiile de examinare se stabilesc în conformitate cu STAS 9552-87.

10.2.3.2. Se evidențiază, pe rând, discontinuitățile longitudinale și apoi cele transversale, parcurgându-se fazele etapei I :

- 1° - detectarea aproximativă a existenței discontinuităților longitudinale ;
 - 2° - localizarea discontinuităților în lungul cordonului de sudură ;
 - 3° - verificarea localizării în lungul cusăturii;
 - 4° - stabilirea adâncimilor la care se găsesc discontinuitățile ;
 - 5° - stabilirea prezenței discontinuităților transversale.
- Tehnicile de examinare corespund STAS 9552-87

10.2.3.3. Etapa a II-a: Stabilirea formei, orientării și mărimii discontinuităților.

Se procedează conform prevederilor STAS 9552-87.

Pentru stabilirea dimensiunilor discontinuităților mari se folosește metoda la -6 dB, iar pentru discontinuitățile mici, metodele DAC și DAM.

10.2.3.4. Etapa a III-a : Aprecierea naturii discontinuităților.

Se procedează conform instrucțiunilor de lucru D6-S.

10.3. CALCULUL, EVALUAREA ȘI EXPRIMAREA REZULTATELOR

10.3.1. Rezultatele examinării se înscriu de către operator într-un caiet individual de lucru, separat pentru fiecare eșantion.

10.3.2. În urma examinării produsele controlate se vor împărți în două categorii: bune și rebut, prin confruntarea rezultatelor controlului cu prevederile criteriului de acceptare / respingere (A/R).

Cele două categorii de produse vor fi depozitate separat, în cutii, pe rafturi sau locuri diferite, evitându-se amestecarea lor accidentală.

Persoana care efectuează operația de confruntare a rezultatelor cu prevederile criteriului A/R are pregătire corespunzătoare nivelului II și funcția de responsabil de încercare sau șef de entitate.

10.4. GRADUL DE EXACTITATE AL EXAMINĂRII

10.4.1. Pentru a se lua decizii juste în aprecierea indicațiilor se va folosi metoda comparării ecoului de defect cu ecourile obținute de la defecte artificiale practicate în piese - etalon, blocuri de referință, blocuri de calibrare etc.

11. ÎNREGISTRĂRILE CALITĂȚII

11.1. Rezultatele examinării se înscriu în buletinul de examinare al cărui model este prezentat în **anexa 1**. Acestuia i se poate atașa o fișă de examinare pentru fiecare sudură, prezentată în **anexa 2**.

11.2. În cazul în care există mai multe produse identice care se examinează în același mod, buletinului de examinare i se atașează un tabel, prezentat în **anexa 3**.

11.3. Înainte și după arhivarea înregistrărilor calității singura persoană care are acces la acestea

este șeful de laborator. În felul acesta se evită posibilitatea de modificare a acestora și regimul de confidențialitate.

11.4. Buletinul de examinare în original se înmânează clientului. O copie a acestuia se introduce în arhiva laboratorului gestionată de șeful de laborator.

12. DIFUZAREA PROCEDURII

12.1. Exemplarul "0" se păstrează în arhivă de către responsabilul cu asigurarea calității pentru trasabilitate și cu dovadă obiectivă de asigurare a calității.

12.2. Exemplarul "nenumărat" se păstrează de către responsabilul cu asigurarea calității, pentru multiplicare în vederea difuzării.

12.3. Exemplarul "1" se trimite șefului de catedră.

12.4. Exemplarul "2" se trimite șefului de laborator.

12.5. Exemplarul "3" se trimite responsabilului de încercare.

12.6. Exemplarul "4" se trimite organismului de acreditare.

12.7. Lista de difuzare se păstrează împreună cu indicatorul reviziilor, exemplarul "0" și exemplarul "nenumărat" destinat multiplicării.

13. Anexe

Anexa 1 – Raport de examinare cu ultrasunete.

Anexa 2 – Fișa de examinare.

Anexa 3 – Tabel cu înregistrarea rezultatelor controlului cu ultrasunete.

Anexa 4 – Simboluri utilizate în anexa 2 la identificarea defectelor.

Acest exemplar este difuzat în regim **CONTROLAT**
INFORMATIV

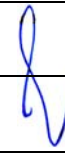
NOTĂ:

1. Prezenta procedură de lucru este destinată utilizării exclusive pentru propriile cerințe.
2. Utilizarea integrală sau parțială a acestei proceduri în orice scop sau activitate sau reproducerea parțială / integrală în orice publicație și prin orice procedeu (electronic, mecanic, fotocopiare, microfilmare, etc.) este interzisă fără acordul scris al autorului / elaboratorului.

NOTE EXPLICATIVE

1. Toate paginile acestei proceduri aparțin ediției menționate pe pagina de gardă.
2. Procedura este supusă reviziilor parțiale, ori de câte ori este cazul.
3. Revizia aplicabilă este cea menționată pe fiecare pagină în parte și în cadrul "indicatorului reviziilor".
4. Data reviziei reprezintă data de aplicare a respectivei revizii.
5. Difuzarea în regim controlat a procedurii și a fiecărei revizii se face pe bază de listă de difuzare, listă aprobată concomitent cu aprobarea procedurii.
6. Listele de difuzare se gestionează de către responsabilul calității și nu se anexează la exemplarele de lucru ale procedurii.
7. Indicatorul reviziilor se ține la zi, se gestionează de către responsabilul calității și nu se anexează la exemplarele de lucru ale procedurii.

LISTA DE DIFUZARE

Compartiment	Numele și prenumele	Semnătura	Data
Universitatea Politehnica Bucuresti	Ionelia VOICULESCU		
Universitatea Dunarea de Jos Galati	Emil CONSTANTIN		
TEHNOMAG SA Cluj Napoca	Radu VASIU		
SUDOTIM AS Timisoara	Horia BINCHICIU		
ICEPRONAV Galati	Gheorghe TUDOR		

INDICATORUL REVIZIILOR

Ediția	Revizia	Numărul paginii/paragraful revizuit	Numele și prenumele persoanei care a introdus modificările în procedură	Semnătura	Data revizuirii

CUPRINS

Nr. crt.	Denumirea capitolului	Pagina
	Pagina de gardă	1
	Note explicative	2
	Lista de difuzare	3
	Indicatorul reviziilor	3
	Cuprins	4
1	Scop	5
2	Domeniul de aplicare	5
3	Documente de referință	5
4	Termenii folosiți și definițiile acestora	5
5	Abrevieri	5
6	Responsabilități	6
7	Echipamente de încercare și materiale	6
8	Condiții de mediu	6
9	Măsuri preventive	7
10	Reguli de procedură	7
11	Înregistrările calității	8
12	Difuzarea procedurii	8
13	Anexe	8

1. SCOP

Prezenta procedură are drept scop stabilirea metodologiei de execuție corectă a unui control cu lichide penetrante, pentru a detecta defectele de suprafață (pori, sufluri deschise, fisuri, rupturi, stratificări, exfolieri, străpungeri, lipsă de topire etc.) ale depunerilor sudate pe materiale metalice.

2. DOMENIUL DE APLICARE

Procedura se aplică la controlul depunerilor sudate din aliaj CuNiAl, indiferent de procedeul de obținere (turnare, sudare, deformare plastică, prelucrare prin așchiere etc.), cu excepția materialelor poroase. Procedura se poate aplica: pieselor, subansamblurilor, ansamblurilor, înainte de asamblare sau instalare sau după aceea, în condiții de laborator.

3. DOCUMENTE DE REFERINȚĂ

- 3.1. Manualul calității laboratorului de defectoscopie, MC-D-01
- 3.2. Procedura generală pentru structura conținutului unei proceduri de management și asigurarea calității în execuția încercărilor, PG-D-01.
- 3.3. STAS 10041-75 Defectoscopie cu lichide penetrante. Terminologie.
- 3.4. STAS 10214-84 Defectoscopie cu lichide penetrante.

4. TERMENII FOLOSIȚI ȘI DEFINIȚIILE ACESTORA

- 4.1. **Procedură**: mod specific de a executa o activitate (definiția 1.3. din SR ISO 8402)
- 4.2. **Înregistrare**: document care furnizează dovezi obiective ale activităților efectuate sau ale rezultatelor obținute (definiție 3.15 din SR ISO 8402);
- 4.3. **Produs**: rezultat al activităților sau proceselor (definiție 1.4. din SR ISO 8402), în cazul de față obiectul supus examinării.
- 4.4. Termenii specifici examinării cu lichide penetrante și definițiile acestora se regăsesc în STAS 10041-75

5. ABREVIERI

- 5.1. LP - lichide penetrante
- 5.2. UV - radiații ultraviolete

6. RESPONSABILITĂȚI

6.1. **Responsabilul calității** răspunde de implementarea prezentei proceduri în activitatea laboratorului de defectoscopie, de cunoașterea acestuia de către cei care efectuează examinarea, semnând la rubrica "**Verificat**" de pe coperta prezentei proceduri.

6.2. **Șeful de laborator** supraveghează întreaga activitate din laborator, corectitudinea efectuării examinării prin perspectiva prezentei proceduri și a instrucțiunilor de lucru privind utilizarea aparaturii. Acesta confirmă corectitudinea rezultatelor finale și își asumă responsabilitatea pentru raportul / buletinul de examinare și data emiterii acestuia, semnând la rubrica "**Aprobat**".

6.3. **Șeful entității "Defectoscopie"** supraveghează personalul operator care execută încercarea și verifică însușirea de către acesta a prevederilor prezentei proceduri, își asumă responsabilitatea pentru rezultatele parțiale, urmărește modul în care se face arhivarea înregistrărilor și semnează raportul / buletinul de examinare la rubrica "**Verificat**". Lui îi revine sarcina determinării gradului de precizie și a incertitudinii de măsurare.

6.4. **Inginerul / tehnicianul operator** efectuează examinarea conform procedurii prezente, pe care și-a însușit-o în prealabil. El înregistrează rezultatele examinării și semnează raportul / buletinul de examinare la rubrica "**Elaborat**".

7. ECHIPAMENTE DE ÎNCERCARE ȘI MATERIALE

7.1. Seturi de materiale (degresant, penetrant, developant) sub formă de spray.

7.2. Lampă iluminare normală.

7.3. Lampă iluminare ultraviolete.

LISTA ECHIPAMENTELOR ȘI A MATERIALELOR

Nr. crt.	Număr de inventar	Denumire echipament/material producător	Tip / caracteristici	Seria
1	-	Degresant	Namicon	-
2	-	Penetrant	Namicon	-
3	-	Developant	Namicon	-
4		Lampă iluminare normală	500 W	
5		Lampă iluminare ultraviolete	125 W Philips	

8. CONDIȚII DE MEDIU

Nu sunt necesare condiții speciale de mediu.

9. MĂSURI PREVENTIVE

9.1. Materialele folosite în controlul cu lichide penetrante pot fi volatile, toxice sau/și inflamabile. Se vor respecta normele de protecția muncii în vigoare. În plus se vor respecta indicațiile date de producător în acest sens.

9.2. Lichidele penetrante trebuie manevrate și depozitate cu grijă, în încăperi aerisite sau ventilate, departe de surse de căldură și foc.

9.3. În cazul folosirii lichidelor penetrante, trebuie respectate normele de tehnica securității muncii privind lucrul cu aparate electrice și cu surse de radiații UV.

9.4. În vederea obținerii unor rezultate concludente și reproductibile se recomandă verificarea calității aparaturii și materialelor utilizate, conform anexei A din STAS 10214-84 și a respectării succesiunii operațiilor funcție de natura lichidului, conform anexelor B1, B2 și B3 din același standard.

10. REGULI DE PROCEDURĂ

10.1. ACȚIUNI PREALABILE EXECUȚIEI ÎNCERCĂRII

10.1.1. Modul de analiză, acceptare, comunicare către client, înregistrare și repartizare a comenzilor de încercare corespund prevederilor procedurii generale PG-D-02. După acceptarea comenzii trimise de către client, fiecare produs se marchează cu vopsea / creion rezistent la apă, etichetă adezivă. Marcajul va cuprinde numărul comenzii și numărul produsului dacă acesta aparține unui lot.

10.1.2. Produsele primite pentru examinare sunt păstrate cu grijă pe rafturi sau în cutii speciale și sunt manipulate cu grijă spre a nu se deteriora. După efectuarea încercării, ele vor fi expediate clientului în perfectă stare.

10.1.3. Modul de verificare a funcționării echipamentelor de încercare / măsurare și punerea în funcțiune a acestora corespund procedurii generale PG-D-03.

10.2. MODUL DE LUCRU

Condițiile de lucru și modul de efectuare a examinării, corespund STAS 10214 - 84

10.3. CALCULUL, EVALUAREA ȘI EXPRIMAREA REZULTATELOR

10.3.1. Prezența unei cantități de penetrant pe fondul dezvoltantului indică posibilitatea existenței unei discontinuități. Pentru stabilirea naturii discontinuității se recomandă îndepărtarea dezvoltantului și examinarea vizuală cu o lupă. Discontinuitățile plane (fisuri, suprapuneri, stratificări etc.) dau indicații sub formă de linii continue, întrerupte sau punctate. Suflurile izolate apar sub formă de puncte iar cele grupate, ca o pată.

10.3.2. Rezultatele examinării se înscriu de către operator într-un caiet individual de lucru, separat pentru fiecare eșantion.

10.3.3. În urma examinării produsele controlate se vor împărți în două categorii: bune și rebut, prin confruntarea rezultatelor controlului cu prevederile criteriului de acceptare / respingere (A/R). În cazul în care indicațiile de defect se referă la discontinuități care urmează a se remedia, acestea vor fi însemnate într-un mod vizibil.

Cele două categorii de produse vor fi depozitate separat, în cutii, pe rafturi sau locuri diferite, evitându-se amestecarea lor accidentală. Persoana care efectuează operația de confruntare a rezultatelor cu prevederile criteriului A/R are pregătire corespunzătoare nivelului II și funcția de responsabil de încercare sau șef de entitate.

10.4. GRADUL DE EXACTITATE AL EXAMINĂRII

Pentru a se lua decizii juste în aprecierea indicațiilor se vor folosi etaloane cu discontinuități naturale sau artificiale.

11. ÎNREGISTRĂRILE CALITĂȚII

11.1. Rezultatele examinării se înscriu în buletinul de examinare.

11.2. În cazul în care există mai multe produse identice care se examinează în același mod, buletinului de examinare i se atașează un tabel, prezentat în anexa 2.

11.3. Înainte și după arhivarea înregistrărilor calității singura persoană care are acces la acestea este șeful de laborator. În felul acesta se evită posibilitatea de modificare a acestora și regimul de confidențialitate.

11.4. Buletinul de examinare în original se înmânează clientului. O copie a acestuia se introduce în arhiva laboratorului gestionată de șeful de laborator.

12. DIFUZAREA PROCEDURII

12.1. Exemplarul "0" se păstrează în arhivă de către responsabilul cu asigurarea calității pentru trasabilitate și cu dovadă obiectivă de asigurare a calității.

12.2. Exemplarul "nenumerotat" se păstrează de către responsabilul cu asigurarea calității, pentru multiplicare în vederea difuzării.

12.3. Exemplarul "1" se trimite șefului de catedră.

12.4. Exemplarul "2" se trimite șefului de laborator.

12.5. Exemplarul "3" se trimite responsabilului de încercare.

12.6. Exemplarul "4" se trimite organismului de acreditare.

12.7. Lista de difuzare se păstrează împreună cu indicatorul reviziilor, exemplarul "0" și

exemplarul "nenumerotat" destinat multiplicării.

13. ANEXE

Anexa 1 - Raport de examinare cu lichide penetrante

Anexa 2 - Tabel cu înregistrarea rezultatelor controlului cu lichide penetrante