



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



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

CONTRACT CEEX 322 / 06.10.2006

**ETAPA III / 2007 – Cercetări fundamentale și aplicative privind
comportarea la sudare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl**

Activitatea III.1.

***Obținerea în condiții de laborator a pulberilor din aliaj de tip CuNiAl
S.C. TEHNOMAG CLUJ – NAPOCA***

Activitatea III.2.

***Obținerea în condiții de laborator a electrozilor înveliți de tip CuNiAl
S.C. SUDOTIM AS S.R.L. TIMIȘOARA***

Activitatea III.3.

***Elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare cu electrozi înveliți de tip CuNiAl
UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI
UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI – CEMS***

Activitatea III.4.

***Testarea în condiții de laborator a unor variante noi de electrozi înveliți și
depunerilor realizate
S.C. ICEPRONAV GALAȚI***

NOIEMBRIE 2007

CUPRINS

OBIECTIVE GENERALE	5
OBIECTIVELE FAZEI DE EXECUTIE	7
REZUMAT	8
CAP. 1. OBȚINEREA ÎN CONDIȚII DE LABORATOR A PULBERILOR DIN ALIAJ DE TIP CuNiAl	
1.1 PROPRIETATI ALE ALIAJELOR DE CUPRU - ALUMINIU – NICHEL.....	3
1.1.1 Studiul privind comportarea bronzurilor cu aluminiu	5
1.1.2 Adosuri de aliere	7
1.1.3 Influența altor elemente asupra proprietăților bronzurilor	10
1.2 ELABORAREA IN CONDIȚII DE LABORATOR A PULBERILOR DE TIP CuNiAl PENTRU MIEZUL ELECTROZILOR	
1.2.1 Considerații teoretice	
1.2.2 Elaborarea in conditii de laborator a pulberilor metalice in vederea fabricarii miezului pentru electrozii de bronz	
1.2.2.1 Obținerea pulberii de cupru	
1.2.2.2 Obținerea pulberii de nichel	
1.2.2.3 Obținerea pulberii de aluminiu	
1.2.2.4 Stabilirea rapoartelor procentuale pentru amestecul de pulberi	
1.2.3 Obținerea in conditii de laborator a pulberii de CuNiAl pentru miezul electrozilor	
1.2.4 Caracterizarea pulberilor CuNiAl obtinute dupa cele 3 retete alese	
BIBLIOGRAFIE	
CAP. 2. OBȚINEREA ÎN CONDIȚII DE LABORATOR A ELECTROZILOR ÎNVELIȚI DE TIP CuNiAl	
2.1 MATERII PRIME SI MATERIALE UTILIZATE IN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ	
2.1.1 Tehnologii de obtinere a pulberilor de CuNiAl din span	
2.2 TEHNOLOGIA DE LABORATOR DE FABRICARE A ELECTROZILOR	
2.3 REALIZAREA ELECTROZILOR EXPERIMENTALI DE LABORATOR	
2.3.1 Elaborarea sistemului decapant-zgurifiant	
2.3.1.1 Serii experimentale de retete de invelire	
2.3.2 Cercetarea sistemului zgurifiznt fluoro-aluminos	
2.3.4 Testarea electrozilor experimentali de laborator	
BIBLIOGRAFIE	
CAP. 3. ELABORAREA TEHNOLOGIEI DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE CU ELECTROZI ÎNVELIȚI DE TIP CuNiAl	
3.1 PARTICULARITĂȚILE SUDĂRII CU ARC ELECTRIC A ALIAJELOR DE CUPRU	
3.1.1 Afinitatea față de oxigen	
3.1.2. „Boala de hidrogen”	
3.1.3. Piederile de căldură la sudare	
3.1.4. Poziția de sudare	
3.1.5. Rezistența mecanică	

3.1.6.	Detensionarea după sudare
3.2.	MATERIALE DE BAZĂ SUPUSE ÎNCERCĂRILOR (ELICI NAVALE)
3.2.1.	Dimensiuni și compoziție chimică
3.2.2.	Aliaje de Cu folosite în industria navală pentru elici conform Germanischer Lloyd
3.2.3.	Alte aliaje navale din cupru
3.3.	INSTRUCȚIUNI PENTRU INSPECTAREA ELICELOR NAVELOR MARITIME ÎN EXPLOATARE
3.3.1.	Indicații generale
3.2.3.	Alte aliaje navale din cupru
3.3.	INSTRUCȚIUNI PENTRU INSPECTAREA ELICELOR NAVELOR MARITIME ÎN EXPLOATARE
3.3.1.	Indicații generale
3.3.2.	Inspecțiile parțiale ale arborilor port-elice și elicelor
3.3.3.	Inspecțiile complete ale arborilor port-elice și elicelor
3.3.4.	Elice - Condiții de funcționare, uzuri și avarii, reparații
3.3.4.1.	Condiții de funcționare
3.3.4.2.	Materiale
3.3.4.3.	Uzuri și avarii
3.3.4.4.	Repararea elicelor
3.4.	INSPECTAREA SI REPARAREA ELICELOR TURNATE DIN ALIAJE DE CUPRU
3.4.1.	Compoziția chimică și caracteristici mecanice
3.4.2.	Structura metalografică
3.4.2.1.	Determinarea zincului echivalent
3.4.2.2.	Determinarea metalografică a conținutului de fază α
3.4.3.	Inspectare
3.4.3.1.	Zone de severitate
3.4.3.2.	Control vizual
3.4.3.3.	Control nedistructiv
3.4.4.	Remediarea defectelor
3.4.5.	Remediarea prin sudare
3.5.	REALIZAREA UNUI ELECTROD SPECIAL PENTRU ÎNCĂRCAREA ELICELOR NAVALE DIN CUNIAL
3.5.1.	Prezentarea electrodului
3.5.2.	Avantajele electrodului
3.5.3.	Originalitatea construcției electrodului
3.5.4.	Realizarea în condiții de laborator a electrozilor speciali pentru procedeul MMIG
3.5.5.	Proiectarea electrodului pentru o anumită compoziție chimică a materialului depus
3.6.	CARACTERIZAREA MATERIALULUI DE BAZĂ
3.7.	CONCLUZII
	BIBLIOGRAFIE

CAP. III.

3.1.	PARTICULARITĂȚILE SUDĂRII CU ARC ELECTRIC A ALIAJELOR DE CUPRU
3.1.1.	AFINITATEA FAȚĂ DE OXIGEN
3.1.2.	„BOALA DE HIDROGEN”
3.1.3.	PIEDERILE DE CĂLDURĂ LA SUDARE
3.1.4.	POZIȚIA DE SUDARE

- 3.1.5. REZISTENȚA MECANICĂ
- 3.1.6. DETENSIONAREA DUPĂ SUDARE
- 3.2. MATERIALE DE BAZĂ SUPUSE ÎNCERCĂRILOR (ELICI NAVALE)
 - 3.2.1. DIMENSIUNI ȘI COMPOZIȚIE CHIMICĂ
 - 3.2.2. ALIAJE DE CŪ FOLOSITE ÎN INDUSTRIA NAVALĂ PENTRU ELICI CONFORM GERMANISCHER LLOYD
 - 3.2.3. ALTE ALIAJE NAVALE DIN CUPRU
- 3.3. INSTRUCȚIUNI PENTRU INSPECTAREA NAVELOR MARITIME ÎN EXPLOATARE
 - 3.3.1. INDICAȚII GENERALE
 - 3.3.2. INSPECȚIILE PARȚIALE ALE ARBORILOR PORT-ELICE ȘI ELICELOR
 - 3.3.3. INSPECȚIILE COMPLETE ALE ARBORILOR PORT-ELICE ȘI ELICELOR
 - 3.3.4. ELICE - CONDIȚII DE FUNCȚIONARE, UZURI ȘI AVARII, REPARAȚII
 - 3.3.4.1. CONDIȚII DE FUNCȚIONARE
 - 3.3.4.2. MATERIALE
 - 3.3.4.3. UZURI ȘI AVARII
 - 3.3.4.4. REPARAREA ELICELOR
 - 3.4. INSPECTAREA ȘI REPARAREA ELICELOR TURNATE DIN ALIAJE DE CUPRU
 - 3.4.1. COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI CARACTERISTICI MECANICE
 - 3.4.2. STRUCTURA METALOGRAFICĂ
 - 3.4.2.1. DETERMINAREA ZINCULUI ECHIVALENT
 - 3.4.2.2. DETERMINAREA METALOGRAFICĂ A CONȚINUTULUI DE FAZĂ
 - 3.4.3. INSPECTARE
 - 3.4.3.1. ZONE DE SEVERITATE
 - 3.4.3.2. CONTROL VISUAL
 - 3.4.3.3. CONTROL NEDISTRUCTIV
 - 3.4.3.3.1. CONTROL CU LICHIDE PENETRANTE
 - 3.4.3.3.2. CONTROL ULTRASONIC
 - 3.4.3.3.3. CONTROL RADIOGRAFIC
 - 3.4.4. REMEDIEREA DEFECTELOR
 - 3.4.4.1. REMEDIEREA ÎN ZONA A
 - 3.4.4.2. REMEDIEREA ÎN ZONA B
 - 3.4.4.3. REMEDIEREA ÎN ZONA C
 - 3.4.4.4. SUPRAFAȚA DEFECTELOR ADMISE PENTRU REMEDIERE
 - 3.4.5. REMEDIEREA PRIN SUDARE
 - 3.5. REALIZAREA UNUI ELECTROD SPECIAL PENTRU ÎNCĂRCAREA ELICELOR NAVALE DIN CUNIAL
 - 3.5.1. PREZENTAREA ELECTRODULUI
 - 3.5.2. AVANTAJELE ELECTRODULUI
 - 3.5.3. ORIGINALITATEA CONSTRUCȚIEI ELECTRODULUI
 - 3.5.4. REALIZAREA ÎN CONDIȚII DE LABORATOR A ELECTROZILOR SPECIALI PENTRU PROCEDEUL MMIG
 - 3.5.5. PROIECTAREA ELECTRODULUI PENTRU O ANUMITĂ COMPOZIȚIE CHIMICĂ A MATERIALULUI DEPUȘ
 - 3.6. CARACTERIZAREA MATERIALULUI DE BAZĂ
 - 3.7. CONCLUZII
 - BIBLIOGRAFIE

CAP. IV.

BIBLIOGRAFIE	228
--------------------	-----

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: **Obținerea în condiții de laborator a pulberilor din aliaj de tip CuNiAl**

Pentru Partener P3 – SUDOTIM TIMISOARA: **Obținerea în condiții de laborator a electrozilor înveliți de tip CuNiAl**

Pentru Partenerii P1 – CO – UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI și P2 – UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCUREȘTI – CEMS: **Elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare cu electrozi înveliți de tip CuNiAl**

Pentru Partener P5 – ICEPRONAV GALATI: **Testarea în condiții de laborator a unor variante noi de electrozi înveliți și depunerilor realizate**

REZUMAT

Partenerul SC TEHNOMAG SA, a efectuat activitatea III.1.: **Obținerea în condiții de laborator a pulberilor din aliaj de tip CuNiAl.**

În cadrul acestei activități s-au elaborat rețete pentru învelișul electrozilor de încărcare și pentru produse deformabile sinterizate destinate fabricării electrozilor înveliți pentru materialul de încărcare prin sudare (bronzuri de aluminiu), prin tehnologii specifice metalurgiei pulberilor, destinate recondiționării elicelor navale.

Pentru atingerea obiectivelor prevăzute în planul de realizare aferente acestei activități în lucrare s-a făcut o caracterizare a bronzurilor cu aluminiu, a adaosurilor de aliere și influența lor asupra aliajului, s-a prezentat tehnologia de realizare a electrozilor din bronz.

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

Pentru elaborarea aliajului s-au calculat elementele care intra în încărcatura în două variante, ținându-se cont de pierderile care au loc datorită arderii la elaborare.

S-a prezentat modul de elaborare și obținere a electrozilor înveliți și rețete pentru învelișul electrozilor și pentru produsele deformabile sinterizate destinate fabricării acestor electrozi din aliaje CuNiAl.

Partenerul SUDOTIM TIMISOARA, a efectuat activitatea III.2.: Obținerea în condiții de laborator a electrozilor înveliți de tip CuNiAl.

Direcțiile de cercetare, rezultate din prima fază a prezentului contract, au impus investigarea unor noi procese de realizare de materiale pulverulente pentru fabricarea electrozilor de tip CuNiAl, cu caracteristici tehnologice și capacitate de prelucrabilitate în condiții eficiente ale acestor produse. Astfel cercetările de laborator au fost orientate spre obținerea de electrozi pe vergele prelucrabile prin deformări plastice, pe principiul realizării de depuneri de tip CuNiAl prin aliere mixtă din vergea și înveliș. În acest scop s-a optat pentru cercetarea experimentală a trei grupe de rețete de laborator, anume :

Rețete de electrozi sintetici cu vergea din sârmă de cupru și înveliș fluoro-calcic-criolitic, bogat în pulbere de aluminiu, pulbere de nichel și pulbere de fier, vergele prezentate în figura 1.



Figura 1

Rețete de electrozi cu vergele din sârmă CuAl 8 și înveliș fluoro-calcic-criolitic, cu conținuturi de pulberi metalice de nichel, mangan și fier, destinate alierii și compensării pierderilor prin ardere, vergele prezentate în figura 2.



Figura 2

Rețete de electrozi cu vergea din țevă de cupru, umplută cu pulbere de CuNiAl, obținută din recuperarea șpanului rezultat la prelucrarea pieselor turnate și înveliș fluoro-calcic-criolitic, bogat în pulbere de CuNiAl și adausuri de completare și compensare a arderilor, de pulberi de fier, nichel, mangan. Această serie de rețete prezintă avantajul realizării unor electrozi cu randament ridicat și al recuperării șpanului rezultat din prelucrarea mecanică a elicelor navale, vergele prezentate în figura 3.



Figura 3

Partenerii UNIVERSITATEA DUNĂREA DE JOS GALAȚI și UNIVERSITATEA POLITEHNICA BUCUREȘTI, au efectuat activitatea III.3.: Elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare cu electrozi înveliți de tip CuNiAl.

Structurat pe 7 capitole proiectul de cercetare abordează în primul capitol particularitățile sudării cu arc electric a aliajelor de cupru.

Următorul capitol tratează materialele de bază supuse încercărilor (dimensiuni și compoziție chimică).

În capitolul 3.3 sunt prezentate inspecțiile parțiale și complete ale arborilor port-elice și elicelor, precum și condiții de funcționare, uzurile avariile și reparațiile elicilor navale.

Capitolul 3.4. abordează problemele privind inspectarea și repararea elicilor navale (compoziția chimică și caracteristici mecanice, structura metalografică, inspectarea și remedierea defectelor).

În capitolul 3.5 sunt prezentate realizările unui electrod special pentru încărcarea elicilor din aliaj CuNiAl prin procedeul MMIG.

Penultimul capitol este rezervat caracterizării materialului de bază, iar ultimul cuprinde concluziile cercetărilor abordate.

Partenerul ICEPRONAV GALATI, a efectuat activitatea III.4.: **Metode de testare a electrozilor înveliți de tip CuNiAl** din cadrul etapei III.

CERCETĂRI FUNDAMENTALE ȘI APLICATIVE PRIVIND COMPORTAREA LA SUDARE A ELECTROZILOR ÎNVELIȚI DE TIP CuNiAl

1 OBȚINEREA ÎN CONDIȚII DE LABORATOR A PULBERILOR DIN ALIAJ DE TIP CuNiAl – S.C. TEHNOMAG CLUJ – NAPOCA

1.1 PROPRIETATI ALE ALIAJELOR 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 , (NiAl₂) care determină ca solubilitatea aluminiului și nichelului în cupru să se micșoreze o dată cu scăderea temperaturii. [6]

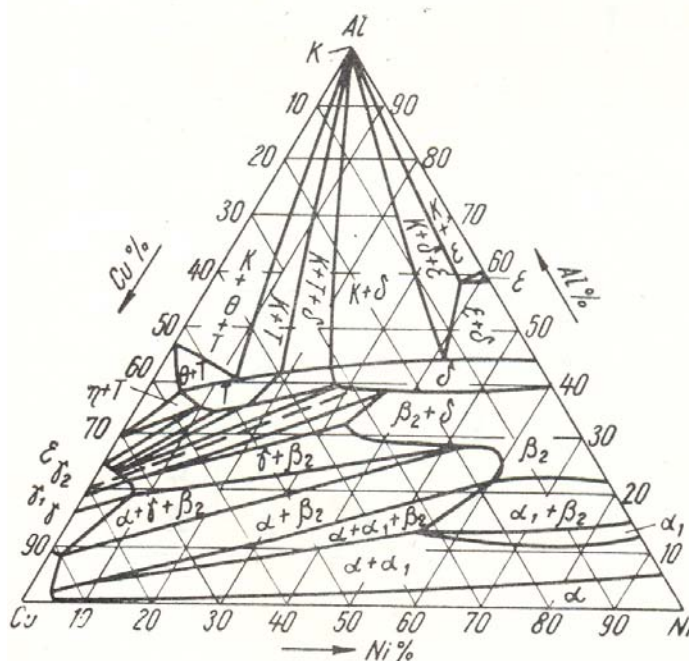


Fig. 1.1 Diagrama ternară Cu-Ni-Al [6]

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 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 titaniu, 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 .

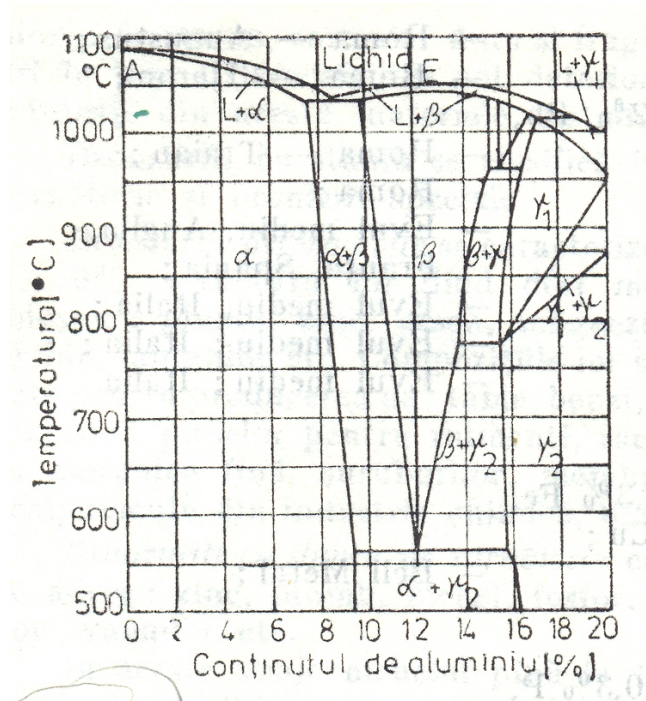


Fig. 1.2 Diagrama de echilibru a sistemului Cu – Al

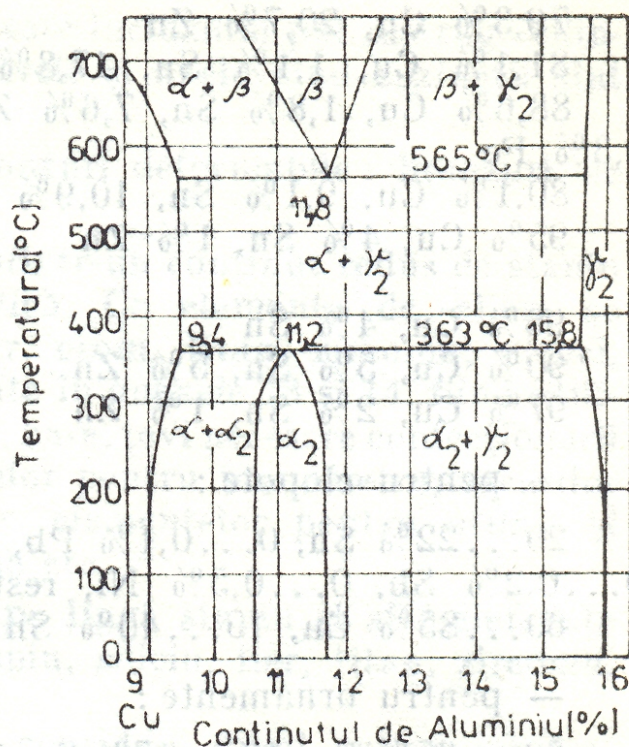


Fig. 1.3 Faze metastabile in aliajele cupru - aluminiu

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; β'_1 - ordonata cu un continut de 11,86% Al; β''_1 - cu retea ortorombica ordonata cu un continut de 13,6% Al. Exista si o faza β'' , asociata cu faza β'_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.

1.1.2 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.

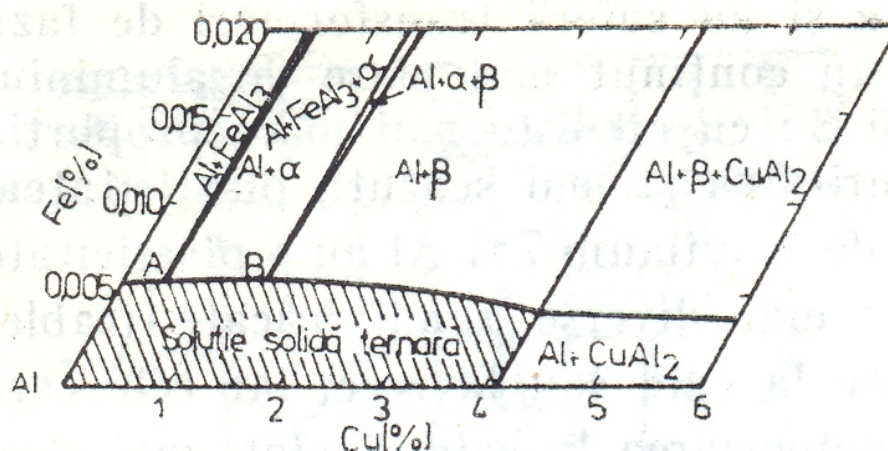


Fig. 1.4 Diagrama de echilibru a sistemului cupru – aluminiu - fier

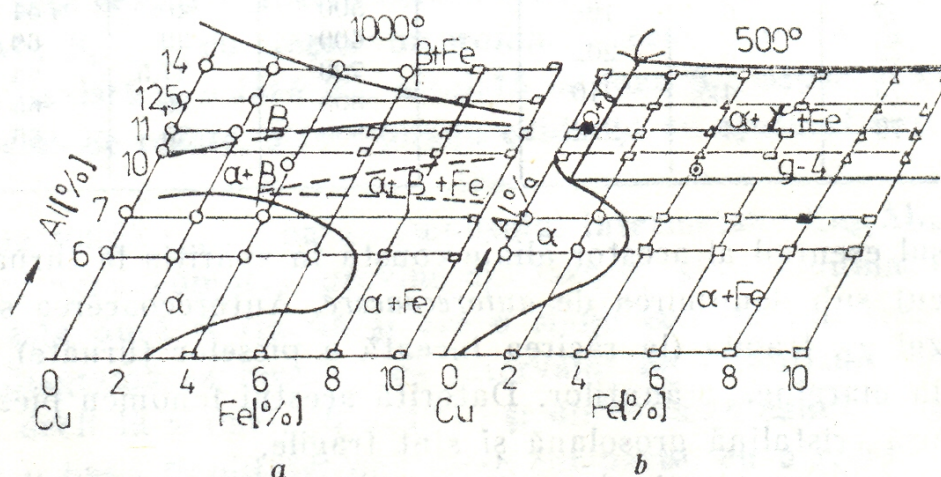


Fig. 1.5 Secțiune izotermică prin diagrama de echilibru a sistemului cupru – aluminiu – fier la 1000°C (a) și 500°C (b)

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 imbunatateste caracteristicile mecanice, proprietile anticorozive si antifricțiune. De asemenea maresc compactitatea si rezistenta la temperaturi ridicate. In stare solida nichelul se dizolva in aceste aliaje pina la un continut de 5% si poate sa formeze faze noi, de tipul NiAl₃, care

marește 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°C . Aliajul are o largă utilizare în construcția de mașini și aviație, pentru bucse, cuzineti, 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 sunt 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 ..

1.1.3 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, având totodată o acțiune dezoxidantă.

Plumbul se găsește în aliaj sub forma unui constituent liber și moale. Bronzurile cu staniu, cu un conținut de Pb până 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.

1.2. ELABORAREA ÎN CONDIȚII DE LABORATOR A PULBERILOR DE TIP CuNiAl PENTRU MIEZUL ELECTROZILOR

1.2.1 Considerații teoretice

Electrozii au multiple funcții: conduc curentul electric, amorsează arcul prin scurtcircuitarea la începutul procesului, formează cusătura prin depunere. Materialele de adaos utilizate la sudare trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- compoziția chimică să fie apropiată de cea a metalului de bază sau compatibilă cu aceasta;
- cordoanele de sudură realizate să aibă proprietăți apropiate de cele ale metalului de bază;
- în urma solidificării să rezulte structuri cât mai omogene, cu granulație corespunzătoare și fără constituenți 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 adaus si acele materiale care contribuie la alierea sudurii, cum sunt invelisurile si fluxurile.

Electrozii inveliti pot fi clasificati la randul lor astfel:

- *dupa destinatie:*
 - pentru oteluri nealiate si slab aliate;
 - pentru oteluri slab aliate rezistente la temperaturi sub 600 °C;
 - pentru oteluri mediu aliate si inalt aliate, anticorozive si refractare;
 - pentru incarcare de straturi dure;
 - pentru fonte;
 - pentru metale neferoase si aliajele lor.
- *dupa natura invelisului:*
 - cu invelis acid, bazic, celulozic;
 - cu invelis oxidant, titanic, rubilic;
 - cu invelis special (antihigroscopic pentru sudarea in apa daca contine mai mult de 50 % pulbere de fier)

Electrozii inveliti sunt in general destinati sudarii manuale cu arc electric. Invelisul electrodului este un strat format dintr-un amestec de substante, aplicat pe exteriorul materialului de adaus in scopul imbunatatirii calitatii sudurii. Invelisul indeplineste functii multiple:

- ionizant, adica contine substante care accentueaza ionizarea mediului pentru a mari stabilitatea arcului;
- zgurifiant, adica contine substante care permit formarea zgurii fluide ce se ridica deasupra baii metalice, rol de protectie;
- dezoxidant, adica contine substante care realizeaza dezoxidarea baii metalice;
- gazefiant, adica formeaza un strat de gaze care protejeaza baia de influenta daunatoare a oxigenului;
- plastifiant si liant, adica adera bine pe vergeaua metalica.

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

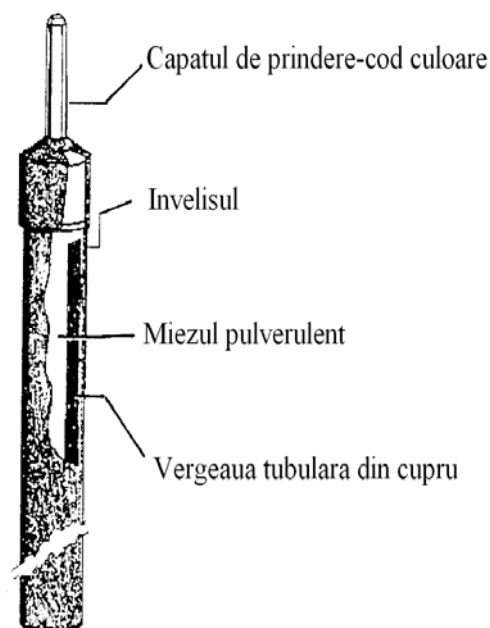


Fig. 1.6. Compozitia electrozilor tubulari cu miez din pulbere de Cu - Al inveliti

- **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 8 mm

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

Aceste aliaje 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.

Alte aplicații care vizează aliajele de cupru sunt cele în care sunt necesare caracteristici de rezistență la uzură, permeabilitate scăzută și culoare specifică. 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 $8,968 \text{ g/cm}^3$.

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 și în construcții 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 etc.

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 și 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 și 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 3.3 sunt prezentate câteva mărci reprezentative de aliaje de cupru, sudate cu arc electric (sudare cu electrod învelit, 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.

Așa cum se poate vedea din tabelul 3.3 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 sau 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.

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.

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 (OFC)	99,95 Cu	1083	100	B	B	NR
C11000	Cupru electrolitic (ETP)	99,90 Cu; 0,04 O ₂	1083	100	S	S	NR
C12000	Cupru fosforos dezoxidat, low P	99,9 Cu; 0,008 P	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	cu puțin Zn						
C21000	Gilding	95 Cu; 5 Zn	1065	60	B	B	NR
C22000	Bronz comercial	90 Cu; 10 Zn	1043	48	B	B	NR
C23000	Alamă Roșie	85 Cu; 15 Zn	1026	41	B	B	NR
C24000	Alamă (low brass)	80 Cu; 20 Zn	999	36	B	B	NR
Alame	cu mult Zn						
C26000	Cartrige Brass	70 Cu; 30 Zn	954	31	S	S	NR
C26800	Alamă galbenă	65 Cu; 35 Zn	932	30	S	S	NR
C28000	Muntz metal	60 Cu; 40 Zn	904	31	S	S	NR
Alame	cu Sn						
C44300	Admiralty brass	71 Cu; 28 Zn; 1 Sn	937	28	S	S	NR

		Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006					
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 D, stabilizat cu Sn	89Cu;7Al;3,5Fe;(0,35)	1046	14	B	E	B
C61400	Bronz cu Al, D	91Cu;6-8Al;1,5-3,5 Fe; 1max Mn	1046	17	B	E	B
C63000	Bronz cu Al, E	83Cu;10Al;5Ni;3,5 Fe;	1054	10	B	B	B
Bronzuri C65100	cu Si 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 C70600	Cu-Ni 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

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 O_2 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 plumb, 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 plumb.

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 EcuAl-B (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.

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.

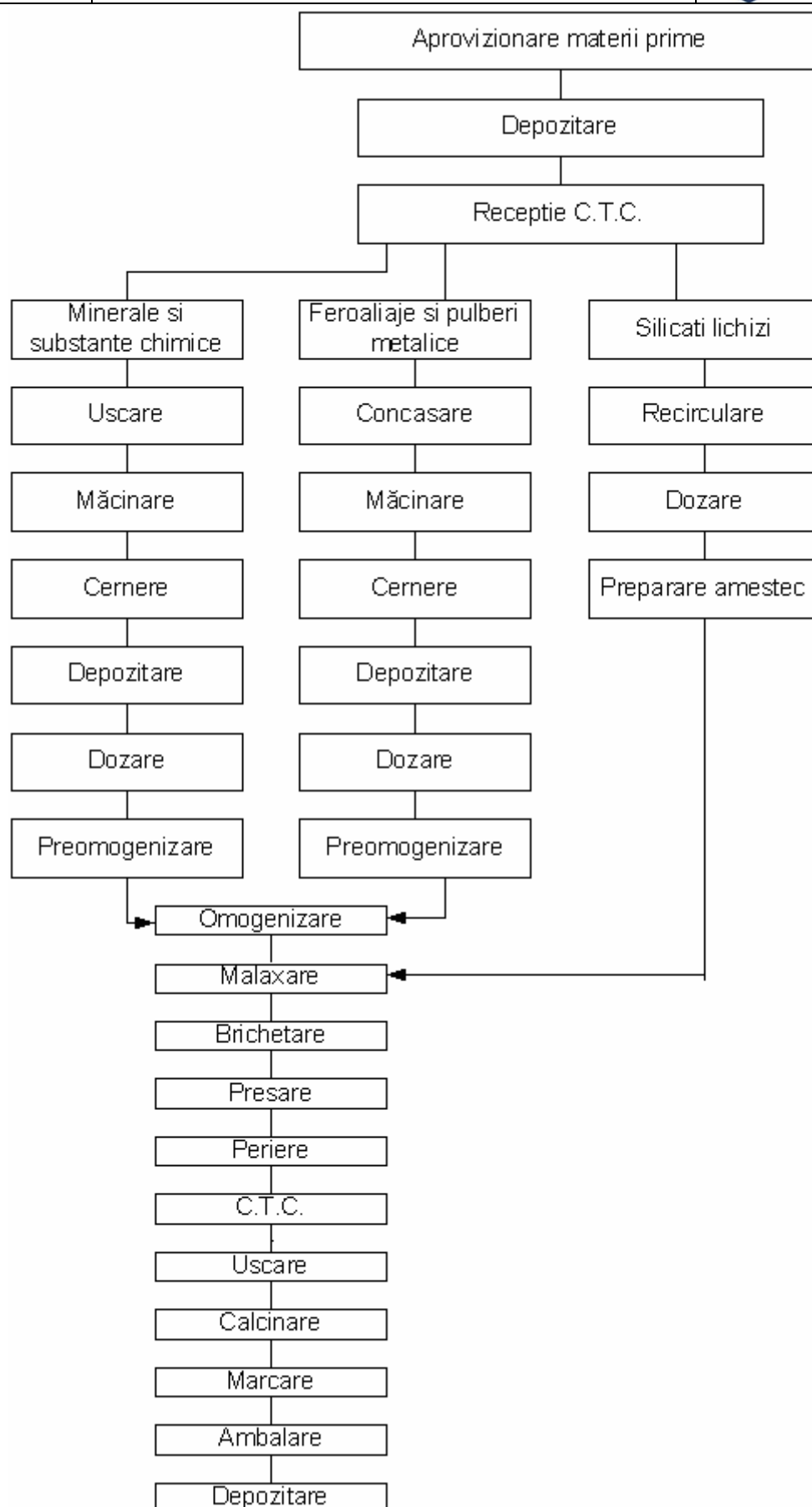
Sistemul zgurifiant

Materiile prime probabile ce intră în componența sistemelor zgurifiante a fluxului aglomerat pentru sudarea aliajelor de cupru trebuie să asigure câteva cerințe specifice:

a). *stabilitate bună a arcului prin ionizare corespunzătoare*

b). *transfer corespunzător al metalului topit prin:*

- acordarea temperaturii de topire a sistemului zgurifiant cu cea a metalului depus
- asigurarea unei zguri cu vâscozitate și tensiune superficială corespunzătoare care să asigure trecerea metalului din electrodul sârmă în baia de metal topit.



- zgura trebuie să prezinte o lungime mare – un interval mare de temperatură de cca. 250 °C în care coeficientul de vâscozitate al zgurii să nu se modifice sensibil; să permită o trecere bună a picăturilor fine de metal topit prin stratul de zgură – care este mai rece datorită contactului cu metalul de bază care are conductibilitate termică foarte bună și se răcește mai repede

c. protecție bună a băii de metal topit prin:

- asigurarea unui metal depus curat, lipsit de pori și de incluziuni a oxizilor formați ca urmare a oxidării parțiale a elementelor de aliere (se are în vedere capacitatea sistemului zgurifiant)

- asigurarea unor coeficienți de trecere mari a elementelor de aliere din flux și din sârma electrod în baia de metal depus

- corelarea coeficienților de contracție a zgurii și a metalului depus astfel încât să se obțină o detașare ușoară a zgurii.

Caracteristici fizico-chimice ale materiilor prime din sistemul oxidic zgurifiant

Magnezita sinterizată - MgO

Oxidul de magneziu utilizat la fabricarea materialelor pentru sudare se obține prin sinterizarea magnezitelor (MgCO_3) la temperatura de 1800 °C.

Magnezitele sunt roci a căror constituent principal este mineralul magnezit (globerit – MgCO_3) de compoziție MgO – 47,6 %, CO_2 – 52,4 %.

Magnezitele pot avea culoare albă, alb-gălbuie și cenușie. Densitatea este cuprinsă între $2,7...3,1 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$. Duritatea este de 4...4,5 (scara Mohs). Refractaritatea se apropie cu atât mai mult de 2800 °C cu cât gradul de puritate este mai ridicat.

Magnezita sinterizată este mai închisă la culoare – spre brun. Densitatea magnezitei sinterizate variază între $3,55...3,58 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

Compoziția chimică a două loturi de magnezită sinterizată este prezentată în tab 1.4

Tabelul 1.4

Comp. chimică Nr. lot	MgO %	SiO ₂ %	CaO %	Fe ₂ O ₃ %
1	93,45	2,88	-	1,11
2	91,91	3,97	0,98	1,44

Alumina calcinată

Forma stabilă a oxidului de aluminiu este alumina α . Este singura formă ce se găsește în natură. Are densitatea $4,0 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$ și duritatea 9 (scara Mohs). Alumina α pură este incoloră și rezistentă la atacul diferitelor substanțe. Nu reacționează la rece nici cu acizii, nici cu bazele. Temperatura de topire a oxidului pur este de 2050°C . În natură se găsește sub formă de corindon (variante anhidră).

Alumina calcinată se obține prin calcinarea hidroxidului de aluminiu – $\text{Al}(\text{OH})_3$, care conține cel puțin 99 % Al_2O_3 și care se compune mai ales din alumină aflată în faza de trecere spre alumina α și resturi de hidroxid. Densitatea aluminei calcinate este de $3,5 - 3,6 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$.

Temperatura de topire este de 2030°C , iar temperatura de volatilizare este de 3300°C . Granulele de alumină calcinată au structuri specifice. Ele reprezintă agregate de cristale foarte fine submicroscopice, mai mici de $0,1 \mu\text{m}$; au o formă mai mult sau mai puțin sferică, majoritatea cu dimensiuni cuprinse între $25 \dots 80 \mu\text{m}$.

Compoziția chimică efectivă este prezentată în tabelul 1.5

Tabelul 1.5

Comp.chimică Nr. lot	Al_2O_3 %	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Na_2O %
1	98,90	0,46	0,60	-
2	99,25	0,032	0,029	0,48

Fluorina – CaF_2

Este o substanță de culoare alb-roz. Este greu solubilă în apă și acizi diluați.

Temperatura de topire este de 1403°C , iar cea de fierbere de 2500°C .

Granulația este de 45 % rest pe sita de 200 Mesch ($6400 \text{ ochiuri/cm}^2$).

Compoziția chimică este redată în tabelul 1.6

Tabelul 1.6

Comp. chimică Lot	CaF_2 %	CaCO_3 %	Fe_2O_3 %	SiO_2 %
1	97,55	1,25	1,10	1,10

Cuarțul – SiO_2

Se găsește frecvent în natură sub forma cristalină, polimorfă, microcristalină. Nu este solubil în apă. Densitatea este de $2,52 \dots 2,65 \cdot 10^3 \text{ Kg/m}^3$. Duritatea este de $6 \dots 7$ pe scara Mohs.

Temperatura de topire este de 1600...1670 °C, aceasta datorită transformărilor parțiale în fazele polimorfe. Transformările polimorfe au loc după cum urmează:

β cuarț 575 °C $\rightarrow$ α cuarț 870 °C $\rightarrow$ α tridinit 1470 °C $\rightarrow$ α cristobalit 1719 °C lichid

Echilibrele termice ale sistemului SiO₂ sunt redată în figura 3.7

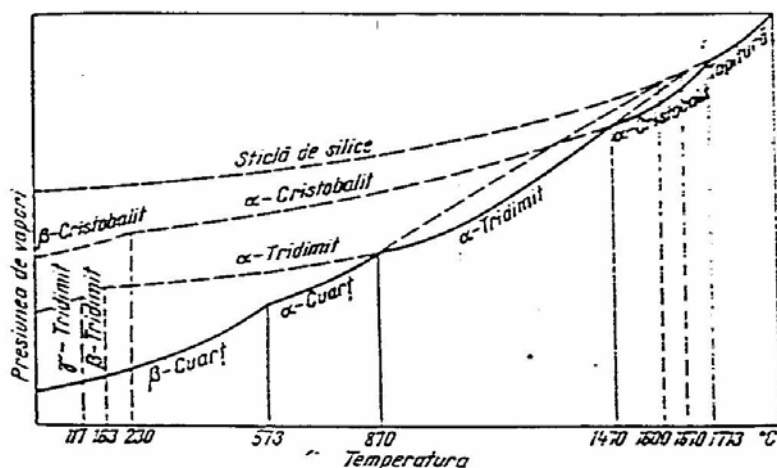


Fig. 3.7 Diagrama de echilibru termic a sistemului SiO₂

Transformarea β cuarț 570 °C $\rightarrow$ α cuarț are loc cu ușurință.

La aceasta transformare apar salturi în variația coeficientului de dilatare evidențiate în figura 3.8.

Adiția izomorfă a unor elemente străine în rețeaua de cuarț ca de exemplu B₂O₃ are un efect de activare a transformărilor.

Transformările α cuarț $\rightarrow$ α tridinit $\rightarrow$ α cristobalit sunt foarte dificile și decurg cu variații mari de volum.

În prezența unor mineralizatori – ca silicatul de sodiu – transformarea decurge mai rapid.

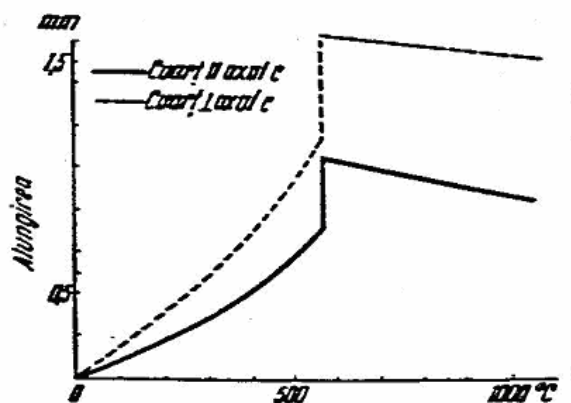


Fig. 3.8 Diagrama de variație a coeficientului de dilatare

Se remarcă că la tratamentele termice de supraîncălzire au loc reacții ireversibile spre deosebire de reacțiile de echilibru care sunt reversibile.

Temperatura de fierbere este de 2230 °C. Compoziția chimică a unui lot de nisip cuarțos este prezentată în tabelul 1.7

Tabelul 1.7

Comp. chimică	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
Lot	%	%	%	%
1	98,44	0,97	0,42	0,13

Feldspații

Sunt alumino – silicați anhidri de sodiu, potasiu sau calciu. Datorită ionilor alcalini ce-i conțin hidrolizează ușor cu apa.

Densitatea feldspaților variază între 2,56...2,63·10³ Kg/m³, iar duritatea între 6,0...6,5 (scara Mohs).

La măcinare foarte fină, în prezența apei, cedează o parte din alcaliile ce-i conțin. Feldspații sunt insolubili în acizi cu excepția acidului fluorhidric. Temperatura de topire variază între 1000...1200 °C.

De obicei, zăcămintele de feldspati conțin toate cele trei tipuri de feldspat: sodic (albit), potasiu (ortoză), de calciu (anortit).

În tabelul 1.8 este înscrisă compoziția chimică a unui lot de feldspat de Muntele Rece.

Tabelul 1.8

Comp. chimică	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Lot	%	%	%	%	%	%	%
1	47,5	0,92	0,77	44,3	0,12	0,36	0,17

Carbonatul de calciu (CaCO₃)

Este foarte răspândit în natură. Există în două forme cristaline: calcită trigonal romboedrică și aragonită – rombică. Carbonatul de calciu este greu solubil în apă, în prezența dioxidului de carbon (CO₂) solubilitatea crește mult.

Carbonatul de calciu se găsește în natură cel mai adesea sub formă de calcar și marmură.

Are o culoare albă cu nuanțe spre roz sau gălbui datorită impurităților ce le conține.

Marmura este carbonat de calciu cristalizat. Are culoare albă. Ca și calcarul, în funcție de impuritățile ce le conține, marmura albă poate avea diferite nuanțe de culoare. Atât calcarul cât și marmura se extrag sub formă de bulgări din cariere după care se concasează, se macină și se sitează.

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.

Calcarul și marmura se extrag din carierele de la Racoș, Vlădeni, Buru, Ocolișel, Rușchița Vașcău.

În tabelul 1.9 sunt prezentate câteva compoziții chimice ale unor calcare din diferite cariere:

Tabelul 1.9

Cariera	Conținutul de oxizi, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	PC
Vlădeni	0,76	0,21	0,039	53,9	0,53	43,52
Racoș	-	0,30	0,12	55,0	0,37	43,00
Buru	-	0,47	0,17	54,0	0,30	41,0

Carbonatul de bariu – BaCO₃

Carbonatul de bariu se găsește în natură sub formă de witherit. Se poate obține și sintetic sub denumirea de carbonat de bariu tehnic (STAS 11.090-78).

Carbonatul de bariu tehnic se prezintă sub formă de granule ușor friabile, de culoare albă, alb-cenușie.

Compoziția chimică conform STAS și determinată efectiv este înscrisă în tabelul 1.10

Carbonatul de bariu se descompune la temperatura de 1450 °C în oxid de bariu și dioxid de carbon ce se degajă.

Oxidul de bariu pur este un oxid refractar cu punctul de topire 1923 °C. Carbonatul de bariu este puțin solubil în apă.

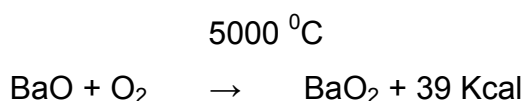
Tabelul 1.10

Comp. chimică		BaCO ₃		Cloruri	Fe ₂ O ₃	BaS	SiO ₂	S total	P
Valori		%		%	%	%	%	%	
Valori			min.	max.	max.	max.		max.	
prescrise	Calit.	S	98,5	0,10	0,01	1,17	-	0,4	-

		Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006							
STAS		I	min. 97	max. 0,10	max. 0,10	max. 0,50	-	-	-
Valori determinate			99,25	-	-	-	0,22	0,005	0,012

În condiții de temperaturi ridicate carbonatul de bariu se topește transformându-se în oxid de bariu care la răcire formează cristale ionice puțin reactive față de apă. În prezența oxidului de calciu, a bioxidului de siliciu și a oxidului de aluminiu în anumite proporții poate forma eutectice cu temperaturi de topire de cca. 1200 °C.

Oxidul de bariu format prin descompunerea carbontului, poate reacționa cu oxigenul din jurul arcului electric unde se poate găsi temperatura de 500 °C când are loc reacția:



Peroxidul astfel format este greu solubil în apă.

Clorura de sodiu - NaCl

Are o culoare albă, alb-cenușie. Are punctul de topire 804 °C și punctul de fierbere 1440 °C. Este o sare ușor solubilă în apă. Solubilitatea clorurii de sodiu în apă variază puțin cu temperatura.

Borax – Na₂B₄O₇ · 10 H₂O

Se dizolva ușor la cald și greu la rece. Se prezintă sub formă de cristale mari, incolore, transparente. Soluția apoasă de borax este puternic bazică, absoarbe un mol de CO₂ la un mol de borax și îl cedează la cald. La încălzire boraxul se topește întâi în apa de cristalizare pe care o pierde la 350 °C și se topește anhidru la 745 °C cu solidificare sub forma unei sticle.

Boraxul topit dizolvă ușor oxizi metalici.

La fabricația metalelor pentru sudare, având în vedere afinitatea acestuia pentru apă se utilizează sub formă de ferită borică obținută prin topire împreună cu nisip cuarțos (SiO₂). Această ferită este stabilă față de apă.

Wollastonit – CaO SiO₂

Se găsește ca mineral în două stări polimorfe: modifiacție de temperatură joasă wollastonit β cu rețea hexagonală și wollastonit α - pseudowollastonit care cristalizează acicular – monoclinic. Wollastonitul se topește congruent la 1650 °C.

Duritatea este de 4,5 – scara Mohs, iar densitatea de 2,9·10³ kg/m³. Culoarea este albă, cu diferite nuanțe de cenușiu, verzui, roz în funcție de impurități. Se dizolvă complet în acid clorhidric. Impuritățile cele mai frecvente sunt: Al₂O₃ ; Fe₂O₃ ; MgO; alcalii. Lipsește

complet apa de constituție. Dilatarea termică este redusă și uniformă, prezintă stabilitate și posibilitatea unei arderi rapide.

Prin introducerea wollastonitului se îmbunătățesc proprietățile de presare, reducerea contracțiilor la uscare, se poate mări viteza de uscare, cresc rezistențele mecanice după uscare. Se îmbunătățesc proprietățile dielectrice.

Se poate utiliza ca fondant, ca înlocuitor al feldspatului.

Se poate utiliza și concentrat wollastonitic rezultat în urma preparării minereului wollastonită – granatifer de la Baita-Bihor.

Concentratul de wollastonit se livrează conform STI nr. 2 din 1993.

Compoziția prescrisă în normă este prezentată în tabelul 1.11

Tabelul 1.11

Comp Valori	SiO ₂ %	CaO %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	CO ₂ %
Valori prescrise	69,5.... 51,5	45,5.... 47,5	1,5.... 2,10	0,80.... 1,20	0,21..... 0,30	0,30... 0,50	0,20... 0,40	0.85... 1,20

Grafitul

Grafitul este forma cristalină a carbonului, cea mai răspândită în natură. În stare pură se găsește extrem de rar în natură. Cel mai adesea este însoțit de cuarț, feldspați, mică, diverși silicați (argilă), calcar, pirită. Uneori grafitul natural conține apă, substanțe bituminoase până la cca. 2 %.

Conținutul de carbon variază în limite destul de largi.

Grafitul are culoare neagră. Cel cristalin are luciu metalic, cel criptocristalin este mat. Este gras la pipăit, are duritatea 1 (scara Mohs).

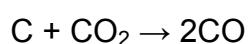
Densitatea variază între 2,09 și 2,23·10³ kg/m³ în funcție de gradul de dispersie și de numărul de micropori. Grafitul are rețea hexagonală.

Conductivitatea termică și electrică este ridicată în direcția paralelă cu straturile de structură și scăzută în cea perpendiculară pe ele.

Grafitul are dilatarea termică scăzută. Are rezistența scăzută la oxidare. Reacția cu oxigenul începe la 450 °C.

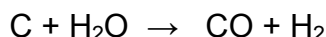
Grafitul cu solzi mari este mai rezistent la oxidare decât cel fin cristalizat.

Grafitul reacționează cu bioxidul de carbon peste 600 °C cu formare de monoxid de carbon.



Reacția este catalizată de vaporii de apă și de fierul fin dispersat.

La incandescență grafitul reacționează cu vaporii de apă.



Cu clorul și fluorul grafitul formează halogenurile CCl_4 și CF_4 .

Cu acizii refractari grafitul reacționează de abia la temperaturi ridicate: cu SiO_2 la 1450°C , cu Al_2O_3 la 1800°C , cu MgO la 1900°C . Cu silicații grafitul reacționează peste 1400°C .

Grafitul este complet inert față de acțiunea unor metale ca zinc, cadmiu, plumb, cupru.

Cu unele metale ca fierul, manganul, nichelul, cobaltul, cromul, molibdenul, wolframul, siliciul, grafitul formează carburi la temperaturi ridicate. Grafitul poate fi fluidificat cu baza de sodiu (NaOH).

1.2.2 Elaborarea în condiții de laborator a pulberilor metalice în vederea fabricării miezului pentru electrozii de bronz

Pentru obținerea pulberii necesare fabricării electrozilor de bronz cu 8...10,7 % Al destinați recondiționării elicelor navale, mai întâi au fost elaborate în cadrul SC TEHNOMAG SA pulberile de cupru, nichel și aluminiu.

1.2.2.1 Obținerea pulberii de cupru

Obținerea pulberilor de cupru s-a făcut la Stația Pilot de la S.C. TEHNOMAG S.A. utilizându-se fluxul tehnologic din figura 1.9 și utilajele prezentate în figura 1.10.

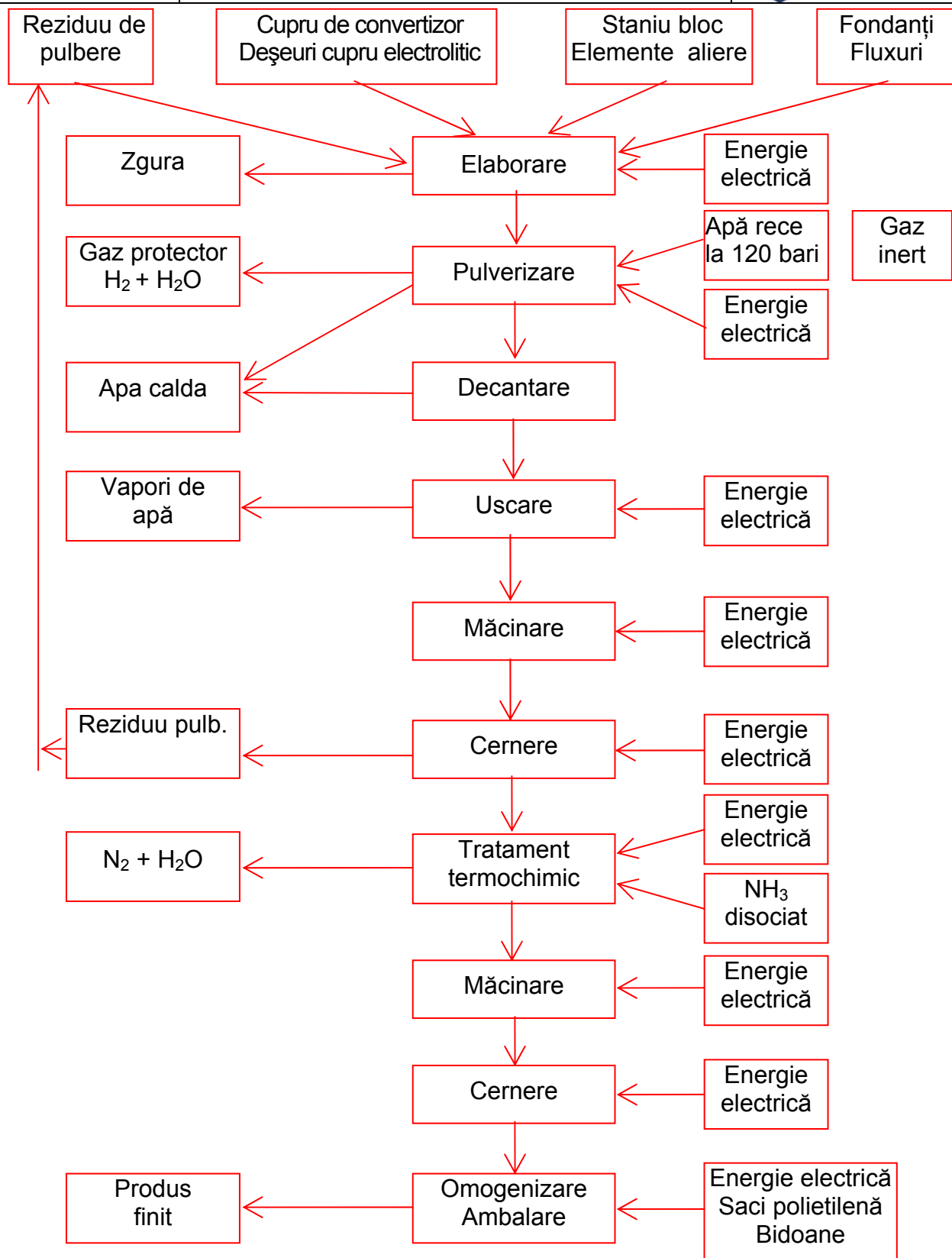


Fig. 1.9 Fluxul tehnologic privind elaborarea pulberii de cuprului



38

Pregătirea încărcăturii

- deșeurile de cupru electrolitic au fost curățate de ulei și impurități de electrolit, și prin încălzire s-a eliminat umezeala existentă în acestea;
- fluorina s-a măcina la dimensiuni de max. 10 mm.

Elaborarea cuprului

Încărcarea

- înainte de introducerea încărcăturii în cuptorul de elaborare cu inducție, creuzetul acestuia s-a curățat, iar apoi s-a încălzit până la roșu cu arzătoare cu gaze naturale;
- creuzetul s-a încărcat până la umplerea completă a acestuia, deșeurile masive de cupru fiind așezate în partea centrală a acestuia.

Topirea

- topirea încărcăturii s-a făcut rapid, pentru a preveni oxidarea și gazarea băii de cupru, temperatura maximă a cuptorului a fost de 1200 °C măsurată cu un piometru optic;
- după formarea băii de metal lichid s-au introdus pentru dezoxidare 0,5 kg Cu-P9, iar pentru protecția băii – 1 kg sodă calcinată și 1 kg fluorină;
- pe toată durata topirii deșeurilor de cupru s-au perforat și îndepărtat podurile de zgură formate;
- după topirea completă a încărcăturii s-au introdus pentru dezoxidare 1 kg Cu-P9, iar apoi fondanți pentru rafinare și protecția băii: 2,5 kg sodă calcinată; 2,5 kg fluorină și 0,5 kg borax;
- în vederea dezoxidării și rafinării băii de cupru, aceasta s-a menținut la temperatura de aprox. 1200 °C, cca. 10 min., după care s-a curățat creuzetul de zgura formată, iar cuprul topit a fost pregătit pentru turnare și pulverizare.

Turnarea și pulverizarea

- jgheabul de turnare a fost încălzit la 700...800 °C cu ajutorul arzătorului cu gaze naturale;
- bazinul de turnare și duza de scurgere a acestuia, s-au încălzit la roșu cu arzătorul cu gaze naturale;
- pulverizarea vânei de cupru lichid s-a făcut cu argon la o presiune de 25 bar cu deschiderea fantei dispozitivului 40...60 μm;
- temperatura de evacuare a sarjei de cupru în bazinul de turnare a fost de 1200 °C;

- durata pulverizării a fost de 5 min.

Uscarea șlamului de pulbere

- șlamul de pulbere de cupru, după decantare, s-a încărcat în tăvi (aprox. 25 kg pulbere) și s-a introdus în cuptorul electric de uscare;
- temperatura de uscare a fost de 200 °C, iar durata de menținere în cuptorul de uscare 8 ore.

Sitarea primară

- pulberea uscată a fost sitată pe sita mecanică cu sită având ochiuri de 0,315 mm;
- pulberea de cupru mai mare de 0,315 mm a fost considerată refuz și se va utiliza ca materie primă la elaborarea cuprului în cuptorul electric cu inducție la altă șarjă.

Tratament termochimic

- tratamentul termochimic s-a făcut doar pentru pulberea de cupru cu granulație sub 0,315 mm, temperatura de tratament termochimic a fost de 700...800 °C, conform diagramei din figura 1.11;
- pulberea de cupru a fost introdusă în tăvi (aprox. 20...25 kg) și a fost așezată pe banda transportoare a cuptorului de tratament termochimic din 500 în 500 mm;
- durata tratamentului termochimic a fost de 7,5...8 ore;
- buretele de cupru tratat a fost depozitat în containere curate.

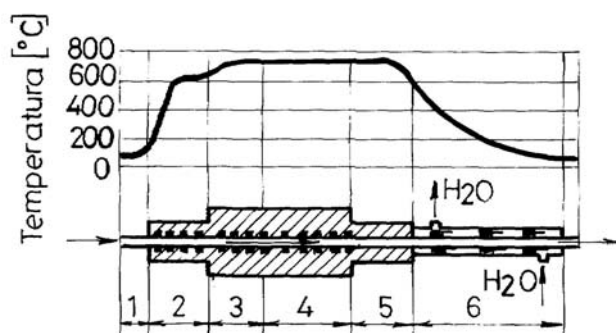


Fig. 1.11 Temperatura de tratament termochimic

Mărunțire în moara Kollergang

- buretele de pulbere de cupru rezultat în urma tratamentului termochimic a fost introdus în cuva morii Kollergang în doze de aprox. 100 kg;

- timpul de măcinare a unei doze a fost de 35 min.

Sortare granulometrică

- sortarea granulometrică a pulberii de cupru măcinată s-a făcut prin sitare pe ciurul oscilant, pe care s-au montat sitele cu dimensiunea ochiurilor corespunzătoare granulației pulberii ce se dorește separate.

Ambalarea

Pulberea de cupru se ambalează în două variante:

- varianta 1 – în saci de material plastic căptușiți cu saci din folie PVC, cu masa de 50 kg, închiși cu colier de plastic pentru asigurarea etanșeității corespunzătoare;
- varianta 2 – în recipiente de plastic prevăzute cu capac, căptușite în interior cu saci subțiri din folie PVC, cu masa de max. 25 kg.

Marcarea

Marcarea ambalajelor se face prin atașarea sau aplicarea unei etichete care conține următoarele specificații:

- marca
- denumire, tip;
- masa netă, în kg;
- data fabricației;
- semnul organului CTC.

1.2.2.2 Obținerea pulberii de nichel

De metoda de fabricație depinde gradul de puritate a pulberilor, mărimea și forma particulelor obținute, precum și proprietățile fizice, chimice și tehnologice ale acestora. În figura 1.12 este prezentat fluxul tehnologic de obținere a pulberii de nichel.

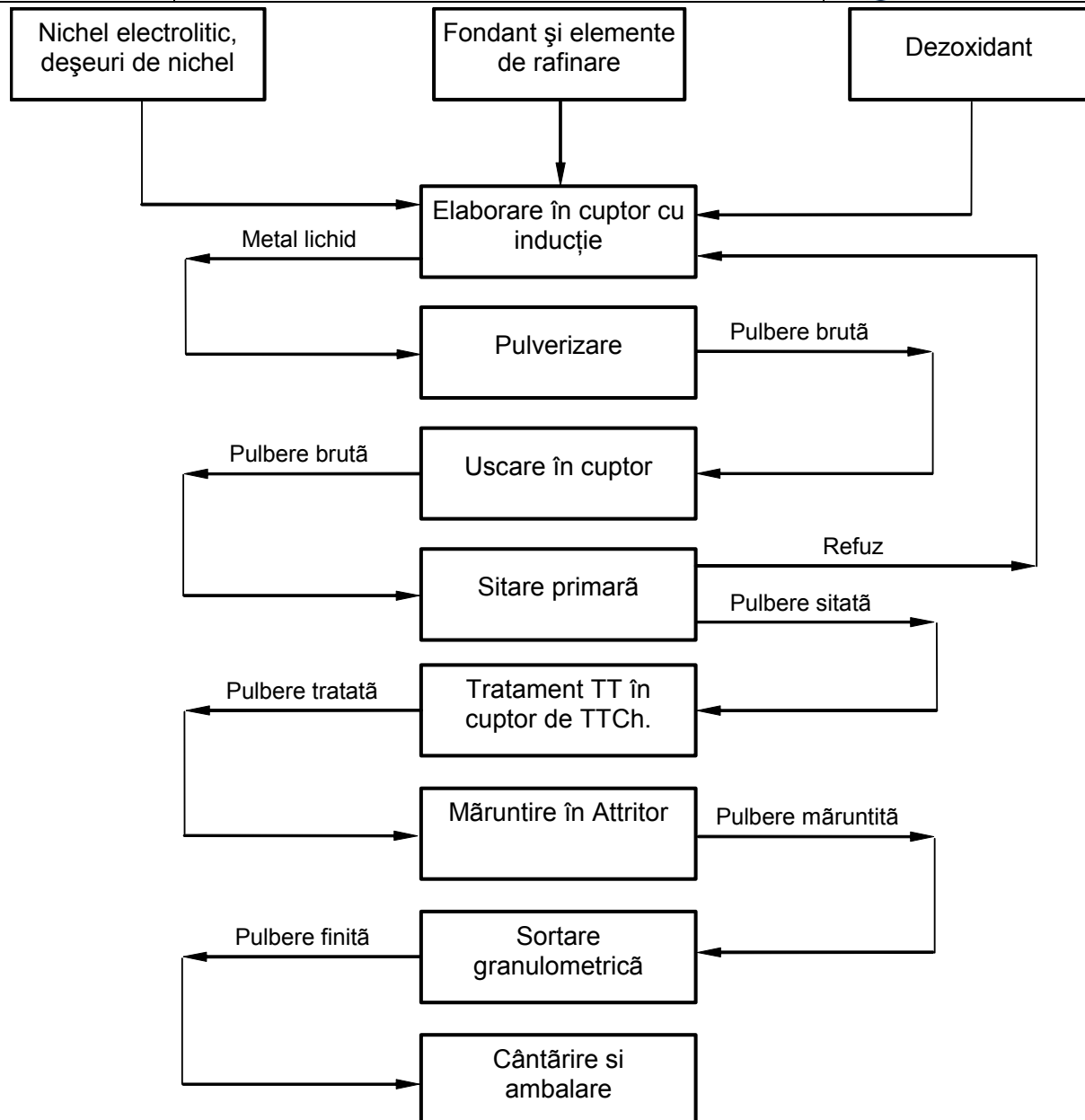


Fig. 1.12 Fluxul tehnologic de obținere a pulberii de nichel

Pregătirea încărcăturii

Înainte de introducerea în agregatul de topire, încărcătura alcătuită din nichel electrolitic, deșeuri din producția proprie, materiale metalice din exterior, prealiaje și feroaliaje, a fost supusă înnobilitării (uscarea, spalare etc). Nu se recomandă să se introducă în baia metalică nichel catodic, deoarece acesta este de regulă impurificat cu resturi de electrolit și saturat cu hidrogen, înrăutățind astfel proprietățile materialului metalic.

Nu trebuie să se încarce în metalul topit prea multe deșeuri din producție proprie, întrucât umiditatea absorbită la suprafața lor poate servi ca sursă de saturare cu gaze a băii metalice. Cantitatea de deșeuri introduse în încărcătură nu a depășit 30%.

Fondanții

Pentru elaborarea nichelului și a unora din aliajele sale, o problemă importantă este găsirea unui fondant care să îndeplinească condițiile impuse de procesul tehnologic.

S-au utilizat fondanți oxidanți, minereuri de mangan, spărturi de sticlă. Sarea de bucătărie și soda au fost adăugate pentru reducerea vâscozității, iar nisipul cuarțos uscat pentru micșorarea fluidității.

Dezoxidarea și desulfurarea s-a realizat cu mangan, siliciu, magneziu, litiu, aluminiu, titan, lantanide, zgura de protecție (40...60% CaO, 60...40% CaF₂) și prealiaj K-Ca-Mg și feromangan.

Topirea, turnarea și pulverizarea

Numarul mare de elemente de aliere, limitarea strictă a conținutului impurităților, solicitările deosebite la care sunt supuse în timpul funcționării la utilizarea lor în domenii de vârf ale tehnicii, temperatura ridicată de topire, afinitatea chimică mare față de oxigen, azot, sulf, carbon, fosfor, au determinat perfecționarea și modernizarea permanentă a tehnologiilor de elaborare.

Pentru a obține materiale metalice de calitate și pentru a se preveni formarea incluziunilor solide și gazoase s-au respectat prescripțiile cu privire la:

- tipul de topire al agregatului;
- compoziția căptușelii spațiului de lucru;
- încărcătura (a fost compusă din materiale cu o puritate ridicată);
- atmosfera;
- mediul de protecție a suprafeței băii metalice (fondant, zgură, atmosfera neutră, atmosfera puțin oxidantă, vid).

Elaborarea în cuptorul cu inducție

La elaboarea nichelului în cuptorul cu inducție cu miez de oțel, o atenție deosebită trebuie acordată materialului refractar din care este confecționat canalul și vatra cuptorului, deoarece datorită temperaturii ridicate de lucru, se poate produce topirea și degradarea lui. În această situație trebuie să se supravegheze temperatura metalului în canal sau să se instaleze termoregulatorul automat pentru evitarea supraîncălzirilor, care pot provoca topirea căptușelii. În această direcție s-au luat unele măsuri privind îmbunătățirea refractarității căptușelii, prin folosirea unui material cu compoziția: 98 % magnezită topită și 2 % borax.

De regulă, cuptoarele cu inducție cu miez de oțel, pentru nichel și aliajele sale, erau monofazice, cu o capacitate de 100...500 kg. Datorită productivității lor mici, sub 7,5 t/24

ore, în ultimul timp au început să se răspândească cuptoarele de inducție cu miez de oțel bifazice și trifazice, cu unul sau mai multe canale pe fază.

Puterea utilă a cuptoarelor bifazice, față de cele monofazice crește de 1,5 ori, la aceleași dimensiuni ale spațiului de lucru. Se îmbunătățește stabilitatea cuptorului, prin construirea riguroasă a canalelor și se poate conduce procesul de dezoxidare și desulfurare, direct în agregatul de elaborare, ceea ce permite obținerea unor materiale de calitate superioară, îmbunătățindu-se randamentul energetic.

Pulverizarea

Pulberile de nichel, se pot obține prin mai multe metode, dar una dintre cele mai eficiente este metoda de pulverizare a aliajului lichid cu fluide sub presiune, prezentată în figura 1.13.

Astfel din cuptorul de topire 1, aliajul lichid 2 este evacuat în pâlnia de turnare 3 care are prevăzută la partea inferioară un orificiu de scurgere calibrat la diametrul “d”. Fluidul de pulverizare, direcționat prin intermediul dispozitivului de pulverizare 5 asupra jetului de aliaj, dezintegrează vâna de aliaj lichid pulverizând-o în particule fine. Turnul de pulverizare 4 care conține și apa de răcire 6 este prevăzut la partea sa inferioară cu un dispozitiv de evacuare 8 a slamului 7.

Principiul acestei metode oferă o serie de elemente care asigură o mare flexibilitate procedurii, astfel încât se pot obține o multitudine de tipodimensiuni granulometrice.

Stabilirea parametrilor optimi ai pulverizării: supraîncălzirea și vâscozitatea aliajului lichid, diametrul duzei de scurgere “d”, înălțimea aliajului lichid în pâlnia de turnare “h”, presiunea, debitul și vâscozitatea agentului de pulverizare, lungimea vânei de metal “h₁”, lungimea jetului fluidului “B”, unghiul de convergență al jetului, înălțimea de cădere a pulberii “H”, precum și construcția și geometria dispozitivului de pulverizare, constituie elementele determinante în ceea ce privește obținerea pulberilor de nichel.

Parametrii de pulverizare:

- mediu protector: argon;
- temperatura de topire: 1450 °C;
- presiune gaz: 20...25 bar;
- sistem inelar de pulverizare cu duze multiple;
- timp de topire: 50 min;
- timp de pulverizare: 15 sec;
- greutate încărcătură: 2470 grame.

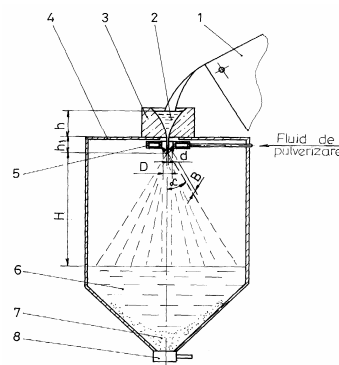


Fig. 1.13 Schema principiului de pulverizare

Marunțirea

Marunțirea pulberii de nichel rezultate în vederea obținerii unei granulații mai mici s-a realizat cu ajutorul unui Attritor (prezentat în figura 1.14) și care are următorii parametri:

- o Diametru cuva cilindrică verticală: $d = 100 \text{ cm}$;
- o Capacitate Attritor: 700 dm^3 ;
- o Turația tijei verticale: 500 rot/min ;
- o Numărul de bile: variabil în funcție de materialul din care sunt confecționate bilele, diametrul acestora și densitatea lor .

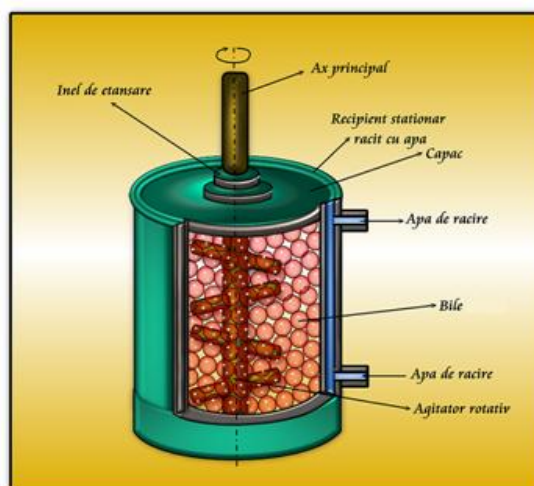


Fig. 1.14 Attritor [18]

1.2.2.3 Obținerea pulberii de aluminiu

În figura 1.15 este prezentat fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de aluminiu.

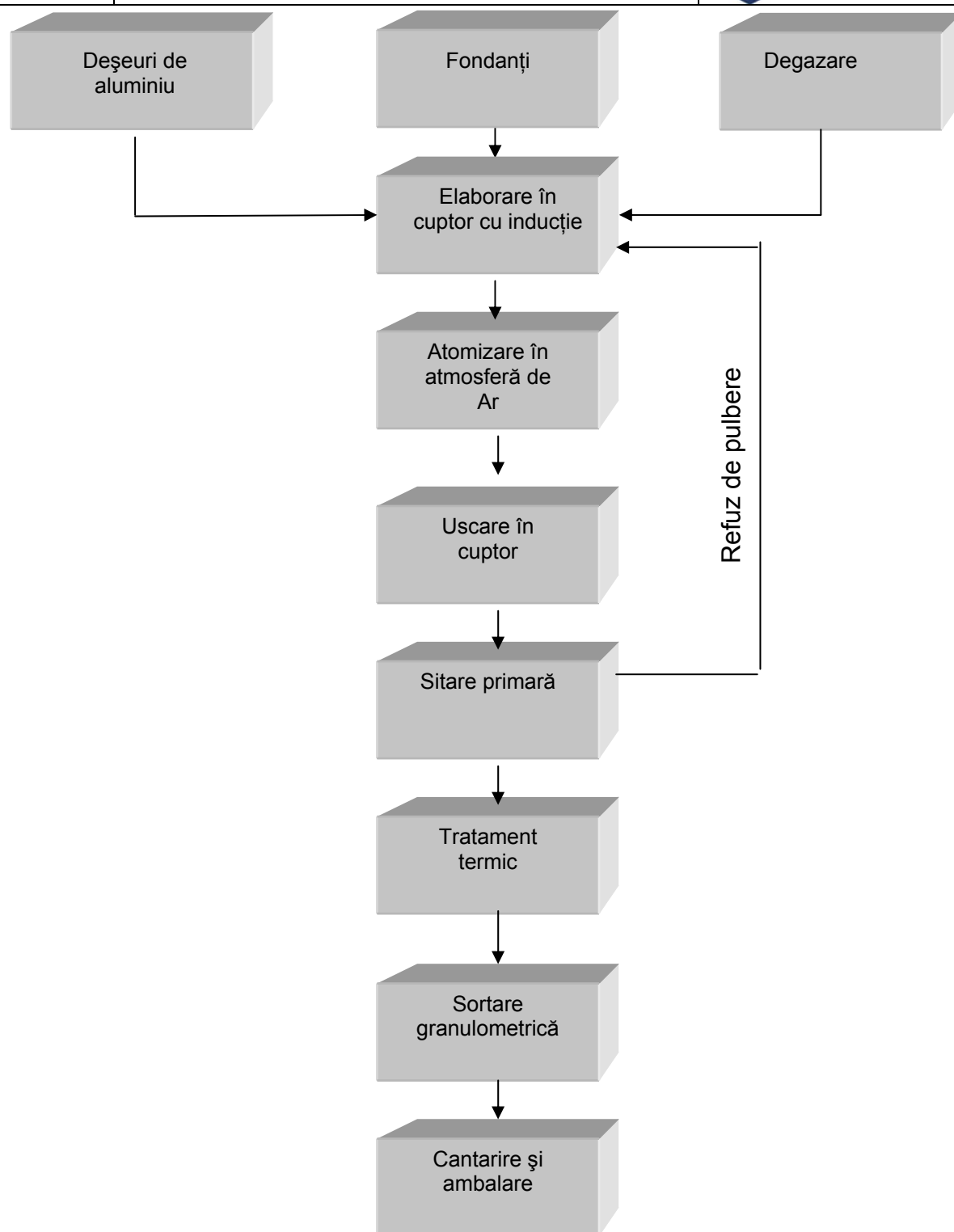


Fig. 1.15 Fluxul tehnologic privind obținerea pulberii de aluminiu

Pregătirea încărcăturii

Tehnologia elaborării aluminiului are particularități specifice, determinate nu numai de proprietățile fizico-chimice variate, ci și de condițiile diferite pe care trebuie să le îndeplinească produsele obținute. Este foarte important să se aleagă corect materialele

care compun încărcătura și tipul agregatului de topire, deoarece materiale metalice pe bază de aluminiu cu caracteristici mecanice superioare se obțin numai dacă se previne impurificarea băii metalice cu elemente nedorite în timpul topirii.

Deșeurile și rebaturile de lingouri de aluminiu precum și refuzul de pulbere de aluminiu, așchiile și deșeurile mici, având la suprafață apă, ulei, nisip, sau alte impurități, se pot utiliza în încărcătură numai după o retopire prealabilă, turnare în blocuri și analiza chimică a acestora. Înainte de încărcarea în cuptorul de topire, este indicată preîncălzirea materialelor pentru a se elimina de la suprafața lor umiditatea care reprezintă una din principalele surse de impurificare cu incluziuni nemetalice solide și gazoase iar uneori poate provoca apariția accidentelor de muncă (explozii), cauzate de interacțiunea energetică a aluminiului cu vaporii de apă și a agitării puternice a băii metalice datorită excesului de căldură apărut în sistem. [11]

Fondanții

Pentru a se obține produse de bună calitate din aluminiu nu este suficient să se cunoască numai compoziția chimică, ci trebuie să se conducă în mod rațional procesul de elaborare pentru a se evita pe cât posibil impurificarea acestora cu incluziuni nemetalice solide și gazoase.

Tehnologia folosită curent în practica industrială constă în protecția băii metalice de acțiunea gazelor oxidante și reducătoare din atmosfera agregatului prin acoperirea suprafeței acestuia cu un fondant, în compoziția căruia pot fi prezente substanțele: cloruri de potasiu, sodiu, magneziu, calciu, zinc, mangan, bariu, fluoruri de magneziu, calciu, bariu, sodiu, fluosilicați, fluortitanați, carbonați, criolită, carnalită etc.

De regulă, principalii componenți la majoritatea fondanților utilizați la elaborarea aluminiului sunt: NaCl și KCl, deoarece acestea au o stabilitate mare, permit obținerea unui amestec cu punct de topire scăzut și unghi limită de umețare mic.

Topirea, turnarea și atomizarea

Pentru producerea pulberii de aluminiu, încărcătura a fost topită, degazată, dezintegrată prin atomizare cu jeturi de gaz inert (argon) sub presiune, și în cele din urmă solidificată. Aceste etape ale procesului s-au realizat pe o instalație de elaborare a pulberilor metalice figura 1.16, utilizând cuptorul de topire, pâlnia sau creuzetul intermediar, dispozitivul de pulverizare și incinta sau turnul de pulverizare. Aceste grupuri constructive principale ale instalației de pulverizare sunt aranjate pe verticală, corespunzător fluxului de material, în sistem liniar. Ele au fost montate împreună cu generatorul de curent de medie frecvență, standul de pompe de vid, ciclonul separator,

panoul de comandă cu dispozitivele de reglare și control, alimentare și evacuare gaz inert, distribuție apă, într-o structură metalică de oțel sudată - platforma de susținere.

Instalația de pulverizare se caracterizează prin:

- siguranță mare în exploatare,
- flexibilitate mare a procesului,
- exploatare economică și rațională.



Fig. 3.16 Ansamblul instalației de atomizare

Pentru urmărirea procesului, instalația este prevăzută cu un echipament cuprinzând următoarele:

- vizor de sticlă pentru observarea procesului de topire și de turnare,
- vizor de sticlă pentru urmărirea nivelului apei din incinta de pulverizare,
- vizor de sticlă pentru urmărirea procesului de pulverizare din turnul de pulverizare,
- măsurarea temperaturii topiturii,
- măsurarea temperaturii creuzetului intermediar,
- măsurarea temperaturii apei din incinta de pulverizare,
- măsurarea presiunii și a debitului pe conducta de alimentare cu gaz inert,
- măsurarea presiunii gazului la ieșirea din dispozitivul de pulverizare,
- măsurarea presiunii din incinta de topire,

- măsurarea temperaturii și presiunii apei de răcire a mantalei,
- măsurarea temperaturii și presiunii apei de răcire a inductorului.

Instalația poate face față varietății mari în ceea ce privește posibilitățile de alegere a materialului, de realizare a procesului de topire și de pulverizare, de influențare a fracțiilor de pulbere obținute, prin intermediul parametrilor de lucru realizabili:

- utilizarea vidului sau gazului inert pentru elaborarea de aliaje,
- temperatură de topire de până la 1600 °C,
- temperatura creuzetului intermediar de până la 1000 °C,
- putere de topire maximă de 56 kw, la 8000 Hz,
- dispozitiv de alimentare cu gaz inert pentru topirea aliajelor cu componente având presiune ridicată de vapori,
- productivitatea de pulverizare 10 kg/min,
- dimensiuni variabile ale duzei de scurgere din creuzetul intermediar,
- dispozitive variate pentru sistemul de duze a agentului de pulverizare (gaz inert),
- parametrii gazului inert (presiune de la 0 la 60 bar), reglabili în limite largi,
- în cazul pulverizării cu apă, recomandabilă la aliajele fără risc ridicat de oxidare, pompa Womma aflată în dotare permite atingerea presiunii de 100 bar.

Instalația de pulverizare permite mărimi variabile ale șarjei, între 5 și 10 kg.

Cuptorul pentru topirea aluminiului (cuptor cu inducție) și pâlnia de turnare se află plasate în incinta clopotului care se compune dintr-o manta și un capac (fig. 1.17). Pereții sunt realizați din oțel inoxidabil, nemagnetic. Capacul clopotului este prevăzut cu un vizor de sticlă ce face posibilă observarea întregii incinte interioare și guri de vizitare care permit controlarea temperaturii în creuzet și în pâlnie, introducerii și evacuării gazului de protecție sau presurizării incinte. Mantaua este prevăzută cu guri de vizitare pentru monitorizarea procesului de elaborare. Tot pe corpul mantalei se află flanșa prin intermediul căreia se face racordul la agregatul de vid, și ștuțurile destinate intrării respectiv ieșirii apei de răcire.



Fig. 1.17 Incinta de elaborare (manta si capac)

Pentru prevenirea solidificării topiturii în creuzetul intermediar, acesta s-a încălzit la temperatura de 900...1000 °C. S-a utilizat kanthalul ca element de încălzire a pâlniei de turnare și nu grafitul, pentru eliminarea timpului de așteptare necesar pentru răcirea sub gaz inert a elementelor de încălzire din grafit și pentru evitarea impurificării mediului, respectiv a aliajului, cu carbon. Orificiul duzei ceramice de la partea inferioară a creuzetului, utilizată pentru dirijarea topiturii spre incinta de pulverizare, este de 6 mm.

Alimentarea cu curent a cuptorului de topire s-a realizat cu un generator static de frecvență medie, care cuprinde următoarele unități funcționale:

- generatorul static de frecvență medie,
- electronica de control,
- electronica de comandă,
- electronica de putere,
- alimentarea cu apă de răcire și
- panoul de comandă (de unde se reglează parametrii de lucru).

Dispozitivul de pulverizare (placa cu ajutaje/duze și sistemul lor de reglare) este fixat prin intermediul unei plăci culisante pe partea interioară a capacului containerului de pulverizare. Pentru reglare sau schimbare duze, această placă poate fi ușor demontată și scoasă din instalație. Pulverizarea s-a realizat folosind un număr de 12 ajutaje/duze cu secțiune circulară.

Intrucât argonul era necesar în trei puncte diferite ale instalației, aceasta a fost dotată cu o rampă specială la care s-au cuplat simultan trei buteli de argon (200 bar, 10

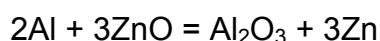
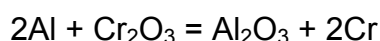
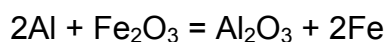
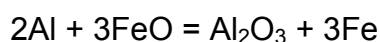
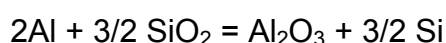
m³/butelie). O butelie a fost folosită în exclusivitate pentru pulverizare, una pentru spălarea incintei de pulverizare, iar cea de-a treia, pentru protecția clopotului.

Incinta de pulverizare este prevăzută și cu o gură de acces în interior, pentru curățire (îndepărtare particule sudate de pereții interiori). Gazul utilizat la pulverizare, ce conține particule foarte fine de pulbere, este evacuat din incintă și dirijat spre recipientul de epurare de unde pulberea poate fi recuperată ulterior.

Pentru a se preveni formarea incluziunilor solide și gazoase, și pentru a se obține în final un material de calitate, s-a acordat o atenție deosebită alegerii:

- compoziției căptușelii spațiului de lucru în agregatul de topire,
- încălzăturii,
- mediului de protecție a suprafeței băii metalice (zgură, vid, atmosferă neutră etc.).

În timpul procesului de elaborare al aluminiului, unele din gazele prezente în atmosfera cuptorului pot să reacționeze cu acesta. Din aceasta cauză la elaborarea aluminiului nu este permis să se folosească căptușeli care conțin oxizi de siliciu, fier, crom și zinc deoarece se pot produce reacții de tipul:



Oxizii obținuți rămân în stare solidă la suprafața căptușelii sau pătrund în baia metalică sub formă de incluziuni nemetalice. Metalele reduse din oxizii căptușelii trec în aliaj dacă se dizolvă în acesta. În cazul în care reacțiile se desfășoară fără să se producă modificări importante de volum, oxizii rezultați pot rămâne la suprafața căptușelii, formând un strat nou de material refractar, care nu intră în reacție cu metalul, se menține destul de bine și nu împiedică mersul procesului de elaborare.

Pulberea de aluminiu obținută a fost uscată într-un cuptor electric, apoi sitată pe o sită mecanică. Granulele de pulbere care depășeau ochiurile sitei de 0.25 mm a fost considerată refuz și se va refolosi în următorul proces de elaborare.

1.2.2.4 Stabilirea rapoartelor procentuale pentru amestecul de pulberi

În cadrul experimentarilor efectuate la SC TEHNOMAG SA s-au realizat trei amestecuri de pulbere de tip Cu-Ni-Al pentru miez de electrozi, pentru care a fost necesară stabilirea procentelor optime ale amestecurilor de pulberi:

Cazul I –pulbere pentru electrozi fara invelis din teava de cupru.

In acest caz au fost elaborate doua variante:

➤ pulbere cu compozitia Cu Al 10 Fe 5 Ni 5

Pulberea de cupru are urmatoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulata;
- calitatea suprafetei granulelor – rugoasa cu suprafata specifica mare;
- repartitie granulometrica - < 0,2 mm;
- densitate aparenta - 3,8...4,2 g/cm³;
- capacitatea de curgere – 15...18 s/50g;
- compozitia chimica – Cu 79 %; Al 10 %; Fe 5 %, Ni 5 % impuritati, max 0,5 %; O₂ max 0,3 %;

➤ pulbere cu compozitia Cu Al 10 Fe 6 Ni 6

Pulberea de cupru are urmatoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulata;
- calitatea suprafetei granulelor – rugoasa cu suprafata specifica mare;
- repartitie granulometrica - < 0,2 mm;
- densitate aparenta - 3,8...4,2 g/cm³;
- capacitatea de curgere – 15...18 s/50g;
- compozitia chimica – Cu, 77 %; Al 10 %; Fe 6 %, Ni 6 % impuritati, max 0,5 %; O₂ max 0,3 %;

Cazul II –pulbere pentru electrozi cu invelis din teava de cupru

In cazul elaborarii miezului electrodului din pulberi de bronz, cu invelis din teava de cupru (Cu 99,90 %), la stabilirea rapoartelor procentuale optime ale amestecului de pulberi s-a tinut cont de aportul de cupru provenit de la invelis, in asa fel incat media procentuala a elementelor din vergea sa se incadreze in limitele stabilite.

Determinarea compozitiei necesare pentru amestecul de pulbere de bronz pentru miezul electrodului aferent tevii cu diametrul de 8 mm si perete de 1 mm, s-a facut conform retetei stabilite anterior:

Calculul matematic:

Calculul matematic s-a facut pentru o lungime a tevii de 100 mm.

Pentru calculul procentelor masice a fiecarui component s-au calculat volumele:

V_{teava} , $V_{interior}$, V_{total} .

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

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, $l = 100 \text{ mm}$.

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

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

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

La dozarea aliajului de pulbere s-a ținut cont de densitatea și volumul tevii de cupru care aduce un aport suplimentar de cupru în vergea. În acest caz, compoziția pulberii aliată introdusă în miez are o altă compoziție, iar elementele de aliere sunt în cantitate mai mare, în funcție de capacitatea de indusare a pulberii în miez.

Cunoscând că densitatea cuprului este de $8920 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 8,92 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, aportul suplimentar de cupru introdus datorită tevii este de:

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

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

S-a ținut cont că densitate aparentă a pulberii este de $3,8 \dots 4,2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, iar în cazul vibrației se poate ajunge la $5,5 \dots 6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 5500 \dots 6000 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$.

Masa interiorului miezului este de:

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

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

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

Deci pentru a respecta rețeta, electrodul trebuie să conțină următoarele cantități:

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

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

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

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

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

Deoarece cantitatea de Cu din teava este de 19,62 g în pulberea introdusă în miez avem: $28,77 \dots 19,62 \text{ g} = 9,15 \text{ g de Cu}$.

Pentru a compensa pierderile care au loc prin ardere trebuie introdus suplimentar:

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

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

Deci, compoziția amestecului de pulbere de bronz pentru introducerea în teava de cupru cu diametrul de 8 mm și grosimea peretelui de 1 mm, constă din următoarele cantități de:

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

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

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

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

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

Masa totală în acest caz este de 17,04 g

Deci compoziția procentuală a noului amestec de pulbere este:

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

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

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

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

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

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

Pulberea de bronz cu rețeta specificată, are următoarele caracteristici fizico-chimice:

- forma granulelor – neregulată;
- calitatea suprafeței granulelor – rugoasă cu suprafața specifică mare;
- repartitie granulometrică - < 0,2 mm;
- densitate aparentă - 3,8...4,2 g/cm³;

- capacitatea de curgere – 15...18 s/50 g;
- compoziția chimică: Cu, min 99,3 %; impurități, max 0,1 %; O₂, max 0,3 %;

1.2.3 Obținerea în condiții de laborator a pulberii de CuNiAl pentru miezul electrozilor

Pregătirea materiilor prime

Materiile prime - pulberile de cupru, aluminiu și nichel obținute în laboratorul SC TEHNOMAG SA (fig. 1.18), înainte de utilizare, au fost pregătite la granulatia necesară. Cele în bulgari sau granule mai mari de 0,3 mm au fost supuse macinării și apoi sortării pe sită cu diametrul ochiului de 0,3 mm. (fig. 1.19).



a. pulbere de cupru



b. pulbere de aluminiu



c. pulbere de nichel



Fig. 1.19 Vibrator electromagnetic

Dozare

Dozarea materiilor prime pulverulente in cantitatile determinate la calculul retetei s-a facut prin cantarire cu ajutorul unei balante electronice din cadrul laboratorului SC TEHNOMAG SA (fig. 1.20).



Fig. 1.20 Balanta electronica

Omogenizarea amestecului 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 s-a preparat amestecand diferitele cantitati de pulberi, conform retetelor prestabilite.

Omogenizarea componentelor dozate este o operatie deosebit de importanta si cu ea se realizeaza o repartitie cat mai uniforma a componentelor. S-a realizat intr-un omogenizator triconic pentru pulberi metalice timp de 20 minute.



Fig. 1.21 Pulbere de tip CuNiAl

În vederea realizării electrozilor de bronz necesari pentru sudarea elicelor navale, la SC SUDOTIM AS SRL urmează să se facă operațiile:

- *obținerea precompactelor* – realizarea structurilor cilindrice presinterizate din pulberi metalice destinate procesărilor ulterioare;
- *trefilarea (extrudarea) sau forjarea precompactelor* – obținerea miezului (vergelelor) calibrate la diametre de 4, 5 sau 6 mm, necesare fabricării electrozilor de bronz destinați recondiționării elicelor navale.

1.2.4 Caracterizarea pulberilor CuNiAl obținute după cele 3 rețete alese

Caracteristici fizice

- *Mărimea granulelor și repartitia granulometrică*

Are o influență asupra proprietăților tehnologice ale pulberilor, asupra proprietăților semifabricatelor presate și ale produselor sinterizate finite. Repartitia granulometrică se poate exprima sub o formă tabelară sau sub formă de grafice. Determinarea acestora se face prin analiza de cernere, folosind un set de site standardizate, așezate pe un vibrator electromagnetic.

În tabelul 1.12 sunt date dimensiunile granulei maxime și refuzul pe sita maximă a celor 3 sorturi de amestecuri de pulberi obținute în cadrul experimentarilor. S-au folosit două tipuri de site cu dimensiunea ochiurilor de 0.04 mm și 0.35 mm.

Tabelul 1.12

Tipul pulberii	Dimensiunea granulei max. [mm]	Refuzul pe sita max. [%]
pulbere 1	0.035	1
pulbere 2	0.040	1
pulbere 3	0.035	1

- *Aspect morfologic*

În urma operației de pulverizare din faza lichidă pornind de la lingouri Cu-Ni-Al obținute prin topire, a rezultat pulberea cu granulație sub 400 μm .

S-a remarcat faptul că pulberea are fie forme alungite, fie sferice cu suprafețe netede sau concreționate, (figurile 1.22 și 1.23) imagini SEM realizate cu ajutorul microscopului JEOL 5600LV.



Fig. 1.22 Imagine SEM a pulberii Cu-Ni-Al

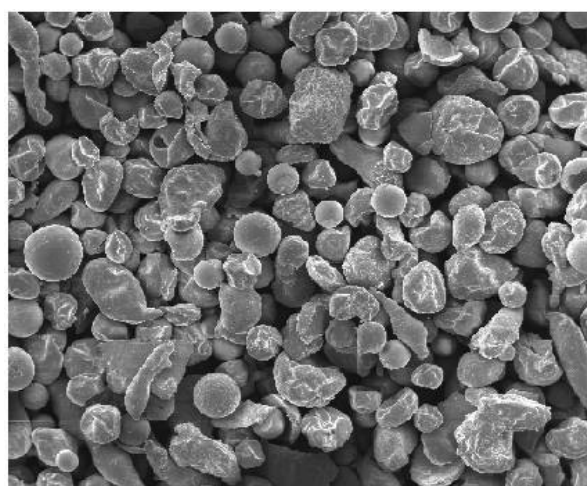


Fig. 1.23 Imagine SEM a pulberii Cu-Ni-Al

- *Densitatea aparentă [g/cm^3] și umiditatea maximă [%]*

Densitatea aparentă s-a determinat prin raportul între masa pulberii (în grame) și volumul recipientului de 25 cm^3 . Umiditatea amestecului de pulberi s-a determinat prin uscarea la temperatura de 100...105 $^{\circ}\text{C}$, în atmosferă naturală, a unei probe de 10 g, până la aducerea la masa constantă.

În tabelul 1.13 sunt prezentate datele obținute în urma determinării densității aparente, conform SR EN 23923-1:1998, a umidității, conform STAS 9965-74, precum și a capacității de curgere, conform SR ISO 4490-2000.

Tabelul 1.13

Tipul pulberii	Densitatea aparentă [g/cm ³] min	Umiditatea max. [%]	Capacitate de curgere [s/50g]
pulbere 1	7.2	0.2	16.5
pulbere 2	7.8	0.2	15.5
pulbere 3	7.5	0.2	16.0

Compoziția chimică

Compoziția chimică, adică cantitatea procentuală a componentelor dintr-un aliaj sau dintr-un amestec de pulberi, respectiv cantitatea elementelor însoțitoare și a impurităților, se determină prin metodele cunoscute și în majoritate standardizate, ale chimiei analitice. Având în vedere importanța deosebit de mare a conținutului de oxigen din pulberile metalice asupra proprietăților fizico-mecanice și tehnologice ale acestora, determinarea conținutului de oxigen este analiza cea mai importantă dintre cele aplicate în metalurgia pulberilor.

Compoziția chimică, în special cantitatea de impurități reprezintă unul dintre factorii de importanță majoră în metalurgia pulberilor, aceasta nu numai pentru că influențează proprietățile produsului finit, dar afectează în același timp și procesele de prelucrare a pulberilor în forma finală.

Compactizarea depinde în mare măsură de plasticitatea și viteza de ecruisare a metalului de bază, care la randul lor, sunt strâns legate de compoziția chimică. Conținutul în elemente de aliere și impurități are de asemenea un efect important și asupra procesului de sinterizare prin influența lor asupra vitezei de difuzie și în anumite cazuri prin formarea unei faze lichide la temperatura de sinterizare.

Multe materiale metalice sau nemetalice, prezintă o capacitate ridicată de absorbție a gazelor și vaporilor de apă din atmosferă. Aceasta poate conduce la acoperirea suprafeței pulberii cu un film de oxid care poate împiedica compactizarea sau sinterizarea (în special oxizii metalelor greu reductibile) sau chiar rămâne inclus în materialul sinterizat.

O altă caracteristică care influențează într-o mare măsură comportarea în timpul compactizării și sinterizării, precum și proprietățile produselor metalurgiei pulberilor, este structura grăunților cristalini și a particulelor. Această influență este determinată în

principal de mărimea și orientarea grăunților cristalini, de numărul, cantitatea și distribuția diferitelor faze, incluziuni și defecte ale rețelei cristaline, care toate în ansamblu sunt strâns legate de metoda de elaborare a pulberii.

Utilizarea unor astfel de pulberi are ca rezultat două efecte mai importante:

- îmbunătățirea proprietăților mecanice,
- îmbunătățirea caracteristicilor de sinterizare în ceea ce privește cinetica și uniformitatea modificărilor dimensionale.

Astfel de particule pot crea dificultăți în timpul compactizării datorită creșterii rezistenței materialelor policristaline, acest efect probabil compensat prin îmbunătățirea ductilității majorității particulelor ca urmare a numărului mai mare de grăunți cristalini (sisteme de alunecare) orientate favorabil în raport cu starea complexă de tensiuni din compact.

O altă trăsătură distinctivă pentru multe pulberi o constituie prezența porozității din interiorul particulelor. Această caracteristică structurală poate avea o influență pronunțată asupra unei serii de alți factori, incluzând comportarea pulberii în timpul compactizării și sinterizării, în special atunci când porii conțin gaze sau lichide incluse în timpul proceselor de elaborare.

Constituția fizico - chimică este o altă trăsătură structurală a particulelor individuale de pulbere care poate influența în mare măsură procesul de compactizare și proprietățile finale ale materialelor sinterizate.

Un alt factor structural care poate influența sensibil procesele de bază ale metalurgiei pulberilor, în special compactizarea este starea rețelei cristaline a particulelor de pulbere și care depinde în principal de metoda de elaborare. Astfel pulberile obținute prin reducere incompletă a oxizilor prezintă o structură cu rețea cristalină denaturată, deformată.

În cazul pulberilor aliate defectele structurale sunt determinate, în afară de condițiile de elaborare și de compoziția chimică nestoechiometrică sau de concentrația neuniformă a componentilor în masa de bază. Imperfecțiunile structurale dispuse în rețele de defecte de tipul vacanțelor, sau dislocațiilor, constituie o caracteristică structurală semnificativă în procesele de presare și sinterizare. O astfel de structură, posibil de realizat în cazul pulberilor prin procedee mecanice sau termice însoțite de transformări de fază înrăutățește curgerea plastică și în consecință proprietățile de compactizare.

În tabelul 1.14 se prezintă compoziția chimică a pulberii de tip CuNiAl obținută la SC TEHNOMAG SA în condiții de laborator, conform celor 3 rețete alese.

Tabelul 1.14 Compoziția chimică a pulberilor de tip CuNiAl.

Reteta de pulberi	Cu % at	Ni % at	Al % at	Fe % at	O % at	Mn % at	impuritati % at
pulbere 1	79	5	10	5	0.2	2	0.45
pulbere 2	77	6	10	6	0.27	2	0.40
pulbere 3	54.5	10.68	22	10.68	0.3	2,11	0.35

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. Cojocaru, 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 și turnarea aliajelor neferoase speciale, Editura didactică și pedagogică, București, 1985
18. Institutul român de standardizare, Culegere de standarde comentate. Pulberi metalice, București 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 conferința națională 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 Proceedings, 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 sîrmă tubulară la sinele de tramvai, Conferința Internațională Examination Methods for Welded Structure Components, ISIM Timișoara, 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 copper and copper 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.

2. Obținerea în condiții de laborator a electrozilor înveliți de tip CuNiAl

2.1 MATERII PRIME SI MATERIALE UTILIZATE IN CERCETAREA EXPERIMENTALĂ

Materile prime folosite la fabricarea electrozilor de tip CuNiAl, cu înveliș compozit sunt grupate în două categorii anume: de sinteză din producția Sudotim Timișoara (frită borică: 2/3 borax, 1/3 nisip silicios) și aprovizionate direct de la furnizorii consacrați. Caracteristicile fizico – chimice de aprovizionare ale acestora sunt redată mai jos .

În tabelul 2.1 este prezentată compoziția chimică a șpanului de CuNiAl aprovizionat de la fabricantul de elicii navale.

Tabelul 2.1

CuNiAl	Compoziția chimică determinată %												
	Zn	Pb	Sn	P	Mn	Fe	Ni	Si	Mg	Cr	As	Al	Cu
	0,280	0,189	0,240	0,0140	0,514	4,86	4,82	0,067	0,006	0,002	0,002	9,33	79,7

Componentul de bază utilizat, anume Cu, a fost constituit din cupru electrolitic, lingou.

Tabelul 2.2

	Conținut de elemente, %				
	Cu	Pb	Sb	S	P
Cupru electrolitic	99,7	0,01	0,02	0,02	0,02

Nichelul a fost de proveniență import Germania, sub formă de brichete obținute prin agere din pulbere.

Tabelul 2.3

	Conținut de elemente, %				
	Ni	Fe	C	S	P
Nichel brichete	98,5	0,012	0,03	0,025	0,11

Manganul metalic s-a utilizat sub formă de pulbere, aprovizionată din Germania. Granulația pulberii a fost de max 0,3 mm, specifică pentru fabricarea materialelor de sudare.

Tabelul 2.4

	Conținut de elemente, %
--	-------------------------

	Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006				
	Mn	C	P	S	Fe
Mangan metalic	99,9	0,03	0,02	0,02	0,02

Feromanganul 45 s-a aprovizionat de la combinatul din Tulcea, sub formă de bulgări.

Tabelul 2.5

	Conținut de elemente, %				
	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>P</i>
Feromangan 45	46,5	2,0	51,28	0,02	0,2

Feroborul utilizat este un aliaj profenit din import spațiu rus, cu un procent de bor estimat pe baza buletinului de analiză emis de producător de 30% bor. Pe acest material nu au fost efectuate determinări din considerente de incapacitate tehnică de determinare.

Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) utilizat a provenit de la CHIPOMAR BUCURESTI, iar caracteristicile acestuia sunt conforme cu prescripțiile furnizorului redate mai jos.

NORMATIV: N.T.R. 4241 – 82

CATEGORIE: REACTIV PENTRU ANALIZA ;

COMPOZITIE PRESCRISA:

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – min 99,5% ; substanta insolubila in apa – max. 0,008%

Cloruri – max. 0,0005%

Sulfati – max. 0,002% ;

Metale grele – max. 0,001% ;

Fier – max. 0,0002% ;

Arsen – max. 0,0005% ;

STARE: pulverulent ;

GRANULATIE: max. 0,2 mm ;

Acid boric (H_3BO_3) utilizat a provenit de la CHIPOMAR BUCURESTI, iar caracteristicile acestuia sunt conforme cu prescripțiile furnizorului redate mai jos.

NORMATIV: S.T.R. 1177 – 92

CATEGORIE: REACTIV PENTRU ANALIZA ;

COMPOZITIE PRESCRISA:

H_3BO_3 – min 99,8% ; substanta insolubila in apa – max. 0,005% ;

Cloruri – max. 0,0005%

Sulfati – max. 0,001% ;

Plumb – max. 0,001% ;
 Fier – max. 0,0005% ;
 Calciu – max. 0,002% ;
 Magneziu – max. 0,0005% ;
 Arsen – max. 0,0001% ;
 Fosfati – max. 0,0008% ;

STARE: pulverulent ;

GRANULATIE: max. 0,2 mm ;

Clorurat de amoniu (NH_4Cl) utilizat a provenit de la CHIPOMAR BUCURESTI, iar caracteristicile acestuia sunt conforme cu prescripțiile furnizorului rediate mai jos.

NORMATIV: S.T.R. 1086 – 91

COMPOZITIE PRESCRISA:

NH_4Cl – min 99%; substanta insolubila in apa – max. 0,005% ;
 pH – solutie apoasa 5% - $4,5 \div 5,5$;
 Sulfati – max. 0,002% ;
 Plumb – max. 0,001% ;
 Fier –max. 0,0005% ;
 Arsen – max. 0,0005% ;
 Fosfati – max. 0,0001% ;

STARE: pulverulent ;

GRANULATIE: max. 0,2 mm ;

Criolit Na_3AlF_6 , florură dublă de aluminiu și sodiu 12,8%Al 32,8%Na, 54,4%F, utilizat import Turcia, colorat alb ca zăpada sau roșiatic brun, rar negru. Se poate obține și pe cale artificială. Granulatie max. 0,2 mm.

2.1.1 TEHNOLOGI DE OBTINERE A PULBERILOR DE CuNiAl DIN SPAN

Tehnologia de măcinare și recuperare a șpanului de CuNiAl, figura 2.5, s-a realizat pe baza fluxului tehnologic de măcinare a feroaliajelor care s-a adaptat pentru obținerea de pulberi de CuNiAl utilizabile în procesul de fabricație al electrozilor.



Figura 2.5 Span de recuperat

Fluxul tehnologic de măcinare este redat în figura 2.6

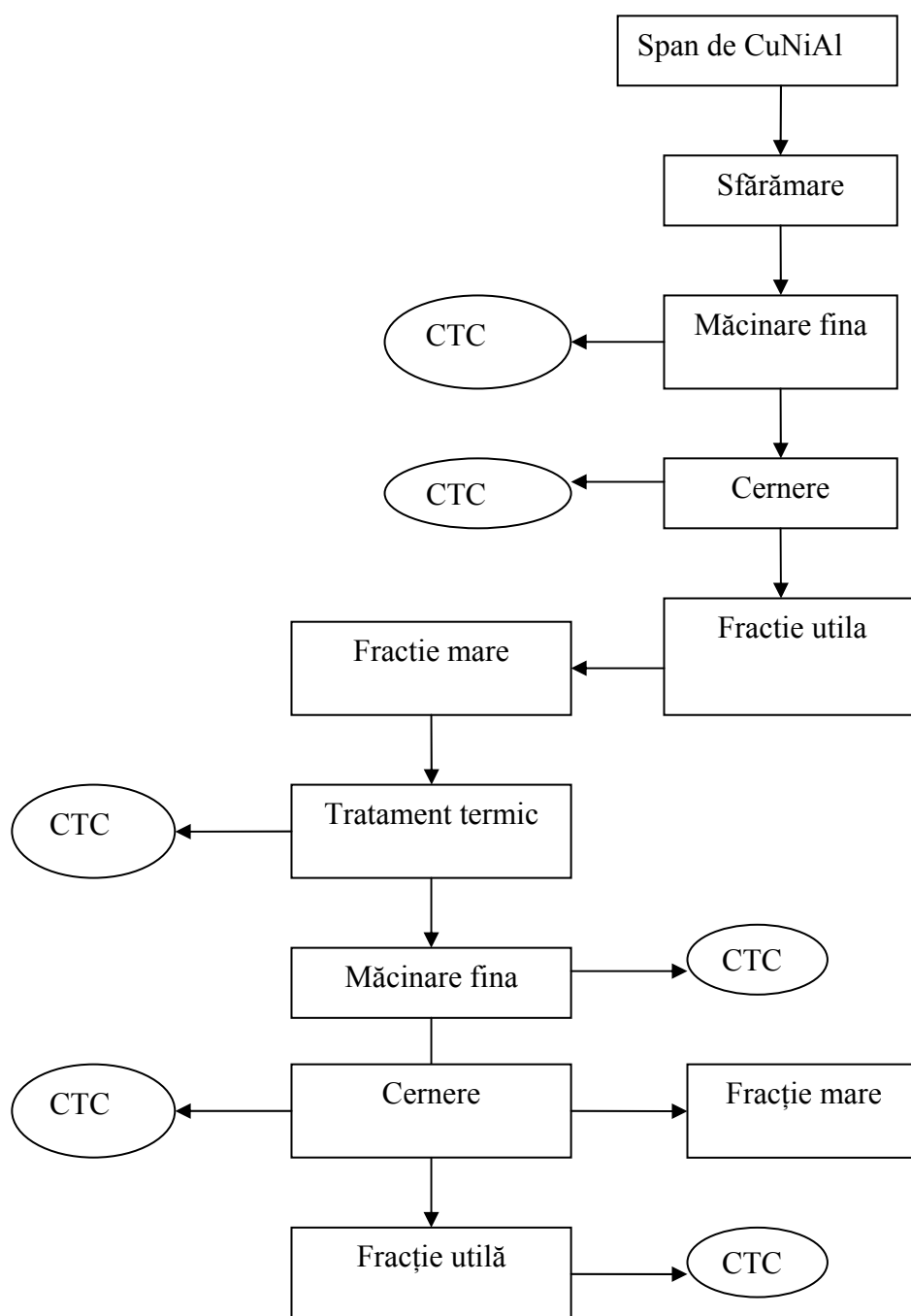


Figura 2.6 Fluxul tehnologic de măcinare

Măcinarea grobă s-a efectuat în malaxorul de tip Kolergan, figura 2.7, iar cernerea s-a executat pe sita vibratoare, figura 2.8.



Figura 2.7 Malaxor Kolergan



Figura 2.8 Sita vibratoare

Tratamentul termic al șpanului s-a realizat în cuptorul din figura 2.9.



Figura 2.9 Cuptor de tratament termic

2.2 TEHNOLOGIA DE LABORATOR DE FABRICARE A ELECTROZILOR

În cele ce urmează este prezentată tehnologia de fabricare a electrozilor înveliți la SUDOTIM TIMIȘOARA.

Fluxul tehnologic general este prezentat în figura 2.10, iar fișa tehnologică în figura 2.11.

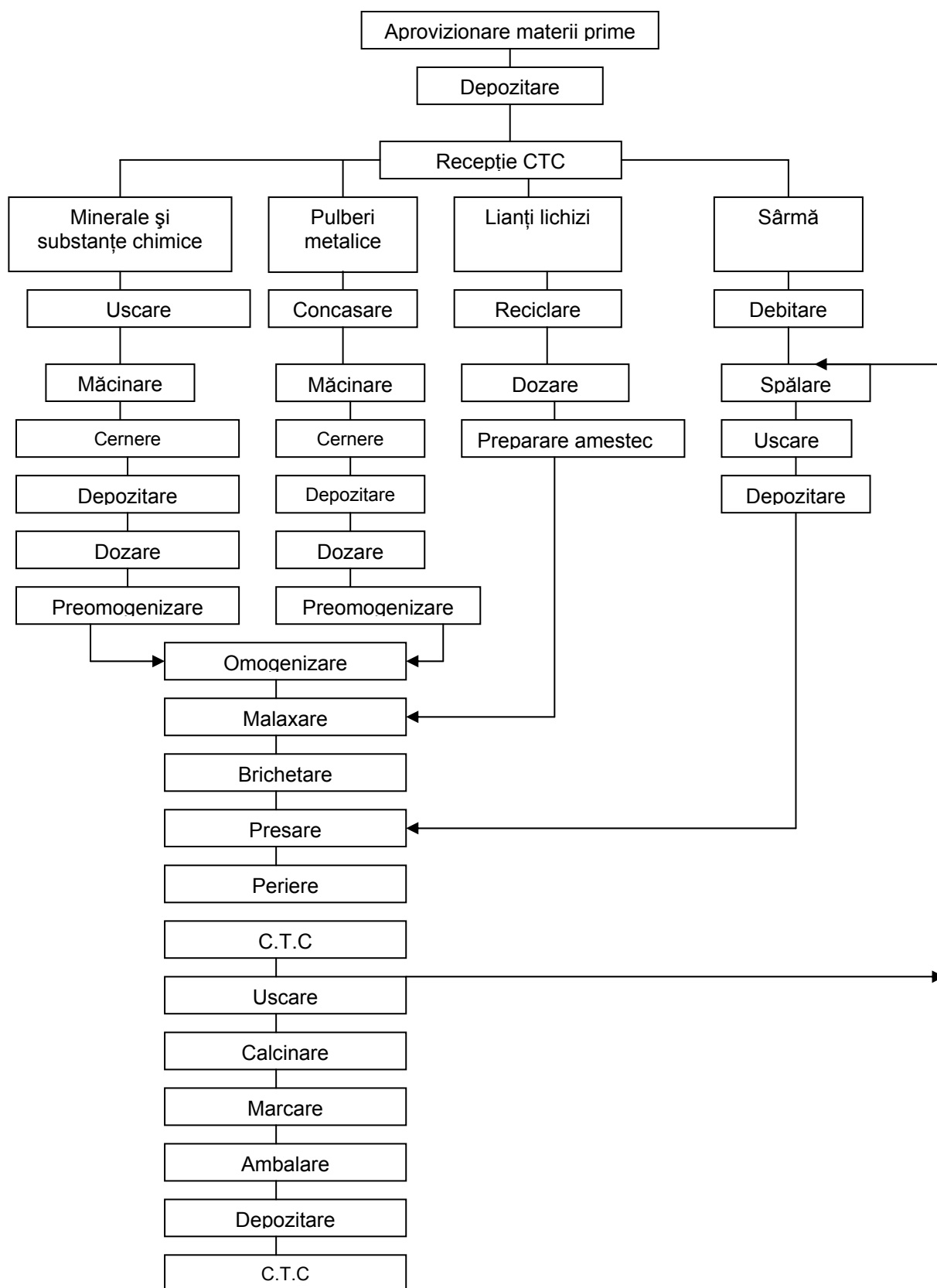


Figura 2.10 Flux tehnologic de fabricație

Operatiile tehnologice ce alcatuiesc tehnologia sunt urmatoarele:

- Trefilarea și debitarea vergelelor;
- Concasarea, macinarea și cernerea materiilor prime;
- Dozarea;
- Omogenizarea și malaxarea;
- Brichetarea;
- Presarea;
- Preuscarea;
- Uscarea și calcinarea;
- Conservarea electrozilor;
- Ambalarea electrozilor;

FIGURA 2.11 FIȘA TEHNOLOGICĂ

Nr. Crt	OPERATIE	ATELIER	UTILAJE	PARAMETRI	PERSONAL CALIFICAT/ NR.
1.	Trefilare sarma	LCS	Masina trefilat, filiere	Serie trageri: 4,5;4,0;3,25;	2
2.	Indreptare debitare	LCS	Masina debitat, indreptat	Viteza indreptare-debitare: 2/3	2
3.	Control vergele prin sondaj	LCS	Ruleta, masa plana, micrometru	$\phi_n \pm 0,08\text{mm}$ $300 \pm 0,5\text{mm}$	1
4.	Depozitare	LCE	Lazi vergele	Min. 5°C Max. 80% umiditate	2
5.	Macinare : -Bronz CuNiAl -Frita borica	LCP	Malaxor Kolergang	Volum span 1/3	2
6.	Macinare fina	LCP	Moara planetara	Volum bile 1/2 Raport bile 1/3	2
7.	Sitare materiale pulverulente	LCP	Sita vibratoare	Diametru ochi 0,3 și 0,5mm	2
8.	Control prin sondaj	LCP	Sita cicloidala de laborator	Rest sita $\emptyset$	1
9.	Depozitare	LCE	Cutii etanse	Min. 50°C Max. 80% umiditate	2
10.	Dozare	LCE	Cantar calibrat lot 5 kg.	$\pm 1\%$	1
11.	Preomogenizare	LCE	Omogenizator cu bile	10 minute	1
12.	Omogenizare –	LCE	Malaxor Kolergan	10 minute	1

	malaxare				
13.	Brichetare	LCE	Presă brichetat	30 atm.	1
14.	Alimentare presă extrudare cu vergele și brichete	LCE	Presă extruziune	-----	2
15.	Presare electrozi	LCE	Presă extruziune Linie preuscare	~100 atm.	3
16.	Control excentricitate	LCE	Aparat optic pentru determinarea excentricității	$\pm 0,1\%$	1
17.	Preuscare electrozi înveliți	LCE	Rame metalice depozit cu ventilație	24 ore	2
18.	Uscare electrozi înveliți	LCE	Cuptor cu ventilație	$125 \pm 20^\circ\text{C}$	1
19.	Control	LIM, ATML CM	STAS 1125/6 Procedură de omologare	-----	1
20.	Ambalare etichetare	LCE	Manual Aparat înfoliere- vidare	Cutii de 4kg.	2
21.	Depozitare	Magazie	Rafturi	Min. 5°C , max. 50% umiditate	1

Unde:

- ATM - atelier mecanic
- ATL -- atelier lacatuserie
- ATP – atelier presaj
- APT – atelier turnatorie
- APS - atelier producție produse ornamentale și din sarma
- ATS – atelier sudura
- LCE – laborator cercetare electrozi
- LCS – laborator cercetare sarme pline, trefilare, debitare
- LCT – laborator cercetare sarme tubulare
- LCP – laborator cercetare pulberi
- LCM – laborator cercetare microscopica
- LIM – laborator de încercări mecanice și de uzura

Presarea electrozilor s-a realizat pe linia tehnologică de fabricație a acestora prin extruziune, figura 2.13.



Figura 2.13

Electrozii astfel obținuți, au fost testați de către colectivul de cercetare și personalul abilitat din cadrul laboratoarelor de investigare.

Fluxul tehnologic elaborat a urmarit si realizat diminuarea si incadrarea in limitele prescrise de normele UE a noxelor, în funcție de tipul prafului în suspensie și a particulelor solide.

2.3 REALIZAREA ELECTROZILOR EXPERIMENTALI DE LABORATOR

În scopul realizării electrozilor experimentali de laborator, pe criteriul alierii mixte din vergea și inveliș, s-au executat etapele tipice de cercetare a materialelor de sudare, specificate în procedura SUDOTIM și prezentate în cele ce urmează.

2.3.1 Elaborarea sistemului decapant-zgurifiant

În cadrul experimentarilor de laborator s-au folosit trei variante experimentale de vergele, prezentate în preambul.

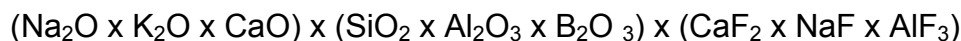
Ecartul larg de compozitie chimica, în special pentru elementele de aliere au permis ca în cadrul variantelor elaborate sa se faca observati privind nivelul de aliere si coeficientii de trecere a elementelor prin arcul electric. Selectionarea masei de invelis si a marcii de aliaj optim din bronz de tip CuNiAl s-a facut pe criteriul modului în care variantele au corespuns obiectivelor principale propuse. În cuplu cu aceste vergele s-au elaborat un numar de 35 de variante experimentale de mase de invelire în vederea perfectionarii sistemului zgurifiant-decapant si de aliere, elaborat în fazele anterioare ale contractului. La realizarea acestora au fost folosite un numar de 31 componente, ponderea si rolul utilizarii fiind prezentat în tabelul 2.6.

Tabelul 2.6 Componente folosite în cadrul variantelor

Componente formatoare	Componente	Dozare în retete	Funcție principală a componentelor

ale sistemului zgurifiant					
Componente oxidice	CuNiAl	0...30%		Refinare dezoxidare, aliere	
	Ni+Fe	0...18%			
	Cu	0...5%			
	FeMnst	0...15%			
	FeSi45	0...5%			
	FeB	0...6%			
	Al	0...16%			
	Mn metalic	0...13%			
	C	0...6%	Degazare si protectie gazoasa		
	CaCO ₃	0...45%			
	Borax cristalizat	0...20%			
	Na ₂ CO ₃	0...10%			
	Ferita borica	0...18%			
	Feldspat	0...15%			
	Al ₂ O ₃	0...3%			
	Rutil	0...10%			
	Hematita	0...6%			
	Magnezita	0...10%	Lianti		
	Ca(OH) ₂	0...15%			
	Na ₂ SiO ₃	0...15%			
	CMC	0...3%			
Floruri	AlF ₃	0...20%			Zgurifianti, fondanti, decapanti
	3NaFxAlF ₃	0...30%			
	CaF ₂	0...20%			
	KF, NaF	0...5%			
	KBF ₄	0...7%			
Cloruri	KCl	0...36%			
	NaCl	0...35%			
	MgCl ₂	0...15%	Liant		
	LiCl	0...5%			

Sistemul zgurifiant de baza a fost cel al masei de invelire al electrozilor de referinta, indigeni, marca E-Bz8Al, adica un sistem zgurificat bazic boro-silico-criolitic de tip:



unde oxizii bazici reprezinta ~ 42-47%; oxizii acizi ~22-27%; fluorurile~ 25% iar dezoxidantii (FeSi +FeMn st) ~5%.

2.3.1.1 Serii experimentale de retete de invelire

Perfectionarea sistemului zgurificat de baza s-a impus datorită compatibilitatii scazute la sudare pe bronz CuNiAl, si a caracteristicilor tehnice inferioare. Perfectionarea sistemului zgurifiant de baza a determinat o diversificare a tipurilor de invelisuri folosite, principalul obiectiv constituindu-l asigurarea compatibilitatii optime intre metalul de baza si metalul de adaos. Caracterizarea generala a acestor tipuri de invelisuri corespunde celor cinci serii de variante experimentale prezentate in tabelul 2.7.

Tabelul 2.7. Serii de variante de laborator din bronz de staniu

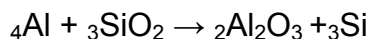
Nr. serie	Caracterizarea seriei	Nr. variante	Simbolizare variante	Caracterizare in subcapitolul
I	Sistem zgurifiant hidroxic	6	Seria I-a hidroxică	A
II	Sistem zgurifiant aluminos	10	Seria II-a hidrojeluri aluminoase	B
III	Sistem zgurifiant liant ciment Sorel	7	Seria III-a nesilicatică	C
IV	Sistem zgurifiant silico-boro-criolitic	12	Seria IV silico-boro-criolitică	D

A SERIA I-A HIDROXIDICA

A cuprins un numar de 6 variante experimentale de laborator si a constatat in inlocuirea liantului sistemului zgurificat de baza - silicatul de sodiu - cu hidroxizii alcalino –

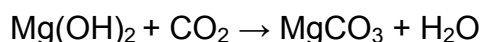
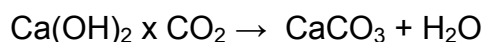
pamantosi: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ si $\text{Mg}(\text{OH})_2$. ratiunile acestei inlocuiri au constat in neajunsurile urmatoare:

- In prezenta elementelor de aliere (din invelis si din vergelele) acestea genereaza in prezenta silicatilor de orice natura reactii aluminotermice de tipul:



ca efect apare o reducere a ponderii elementelor de aliere in depunere si o inlocuire a acestora cu siliciu, depunerea ne mai realizand performantele tehnice de duritate si de rezistenta de rupere la tractiune impuse (min.150HB 10/3000/30 si $R_m \sim 450\text{N/mm}^2$)

- In prezenta liantului (Na_2SiO_3) si eliminarea silicatilor se impune promovarea unui alt liant cu caracteristici corespunzatoare de plasticitate si prooprietati hidraulice. Hidroxizii alcalino-pamantosi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ si $\text{Mg}(\text{OH})_2$ pot asigura plasticitati ale maselor de invelire chiar si in cazul unor componentii de tipul halogenurilor alcaline si alcalino-pamantoase. Priza si intarirea pastei se realizeaza prin carbonatare, dupa ecuatiile:



Variantele elaborate au evidentiat insa o protectie necorespunzatoare a metalului depus nepermitand eliminarea porilor. Tehnologic electrozii calcinati au prezentat invelisuri slabe, avand tendinta de a se faramita si desprinde de pe vergele. Ca atare s-a renuntat la acest tip de sistem zgurifiant pentru elaborarea electrozilor din bronz de tip CuNiAl.

B SERIA II-A A HIDROGELURILOR ALUMINOASE

Seria a promovat ca liant hidrogelurile proaspete de aluminiu. In cadrul sistemului plastifiant – liant de hidrogeluri aluminose, proaspat preparate in cursul omogenizarii maselor de invelis din componentul AlF_3 si activatorul Na_2CO_3 , reactia chimica ce sta la baza este:

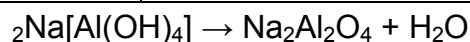


liant plastic zgurifiant fondant

10% 9% 5%

Se observa ca in afara liantului, avand plasticitatea corespunzatoare pentru extrudare pe presa Oerlikon se mai realizeaza si un compus zgurifiant fondant $3\text{NaF} \times 3\text{AlF}_3$ ($T_{\text{top}} = 820^\circ \text{C}$).

Prin dezhidratare sau imbatranirea liantului, hidrogelul de aluminat de sodiu, da priza si intarire dupa ecuatiile :



5%

3,5%

hidrogelul aluminos proaspăt preparat este puternic hidrolizat chiar în soluții concentrate de săruri anorganice, asigurând stabilitatea plasticității maselor de înveliș chiar la conținuturi ridicate de halogenuri și alcalino-pamantoase.

Variantele experimentale elaborate au permis obținerea unor depuneri cu un conținut redus de siliciu ($\text{Si} \leq 0,17\%$) și au permis o creștere a durității depunerii de până la 150 HB 10/3000/30. Experimentările la sudare cu aceste variante au evidențiat o oarecare instabilitate a arcului electric datorată componentei AlF_3 care prezintă o tendință pronunțată de sublimare la temperaturi de peste 150°C , acesta fiind tocmai temperatura uzuală de preîncălzire a suportului, practică în vederea eliminării tensiunilor provenite din diferența coeficienților de contracție termică a celor două materiale de bază și adaos.

Acest sistem zgurificat protejează corespunzător elementelor de aliere provenite din vergele (la trecerea prin arc electric) permitând și alierea din înveliș. În cazul dozării pulberii de CuNiAl în cantități mai mari din înveliș (10-30 %) masele de realizate au caracteristici liante necorespunzătoare, electrozii obținuți după calcinare au învelișuri faramicoase, nepermițând tehnologic realizarea unor electrozi înveliți de nivel calitativ corespunzător.

Deși nivelul de aliere în aluminiu, nichel, mangan și fier al metalului depus a fost la nivelul superior, creșterea durității la doar 150HB este mult inferioară celei prescrise în normativele tehnice străine pentru acest tip de aliaj (ANSI/AWS A5.13-82). S-a impus, ca o nouă direcție de investigație, reconsiderarea și experimentarea efectului celorlalte elemente de aliere: Si, Mn, Ni în cadrul perfecționării marci de aliaj depus cu electrozii asimilați.

C SERIA III-A NESILICATICA

În cadrul acestei serii de variante experimentale de laborator s-a încercat folosirea ca liant a cimentului Sorel ($\text{MgO} \times \text{MgCl}_2$). Cele 7 variante elaborate au realizat coeficienți buni de trecere pentru elementele de aliere din înveliș (pentru Al, Fe, Mn și Ni), ele încadrându-se în limitele prevăzute pentru tipul de aliaj CuNiAl, conform ANSI/AWS A5.13-82, dar au prezentat depunerile cu cel mai înalt nivel al porozității. Recalcinarea electrozilor la 375°C nu a redus această tendință, evidențiind faptul că acest tip de sistem zgurifiant nu asigură protecția bronzurilor de tip CuNiAl. Calcinarea înaltă a redus însă

rezistența mecanică a invelisului și tendința acestuia de a se sfărâma (sfărâma) de pe vergelele electrozilor. Din cauza porozității ridicate, nu s-au putut determina caracteristicile tehnice ale depunerii și s-a renunțat la acest tip de invelis. În cadrul seriei s-a evidențiat și posibilitatea ca lipsa silicelui să fie cauza acestei protecții insuficiente a metalului depus.

Deși s-a realizat și o înaltă aliere în nichel care ar fi permis aplicarea unor tratamente termice post sudare de durificare, structura poroasă a depunerii nu a permis valorificarea acestui deziderat.

D SERIA A IV-A SILICO-BORO-CRIOLITICA

Având în vedere cele prezentate anterior privind efectul favorabil al elementului de aliere siliciu în cadrul bronzurilor de tip CuNiAl (coeficient confirmat de normele americane cât și cele germane, franceze, engleze și japoneze) s-a reconsiderat folosirea drept liant a silicelui de sodiu acceptându-se faptul că, parțial, elementele de aliere provenite din vergea și din invelis se vor regăsi în metalul depus.

Problema a constat în elaborarea unui sistem zgurifiant silicatic care să asigure parțial alierea de compensare în elemente de aliere care să contracareze diluarea datorită alierii din invelis cu Mn, Ni, Fe și parțial (controlat) să asigure reacția aluminotermică având ca efect alierea în siliciu a depunerii. Experimentările efectuate cu vergelele având un conținut prezentat în tabelul 2.1, nu au permis realizarea caracteristicilor tehnice preconizate pentru depunere (duritatea maximă realizată fiind de 125 HB 10/3000/30). Explicația constă în nivelul scăzut în elemente de aliere al vergelelor care a condus în metalul depus, datorită arderilor, reacțiilor aluminotermice și diluării cu celelalte elemente de aliere din invelis, încercările de îngrosare a invelisului nu au condus la scontată protecție a elementelor de aliere, ci la creșterea randamentului reacției aluminotermice.

Subseria ce a utilizat un alt tip de vergele, cu un conținut mai mare de elemente de aliere (țeavă de cupru cu miez de CuNiAl), a depășit această limită, iar comportarea la sudare a electrozilor a fost necorespunzătoare.

Valorificarea informațiilor oferite, de variantele de laborator elaborate, s-au făcut pe criteriul performanțelor tehnice realizate de metalul depus.

2.3.2 CERCETAREA SISTEMULUI ZGURIFIZANT FLUORO-ALUMINOS

Experimentările de laborator, efectuate au permis perfectionarea sistemului zgurifiant silico-boric-fluoro-aluminos nesilicatic [2] prin realizarea unor eutectice adecvate, compatibile necesitatilor tehnologice ale incarcarii si reconditionarii elicelor navale din bronz CuNiAl.

Avand in vedere noutatea folosirii acestui zgurifiant-liant, a aparut necesitatea aprofundarii informatiilor, oferite de diagrama de stare a sistemului binar NaF-AlF₃. acesta este un sistem binar cu un compus incongruent in prezenta fazei lichide. Diagrama de stare este prezentata in figura 2.14.

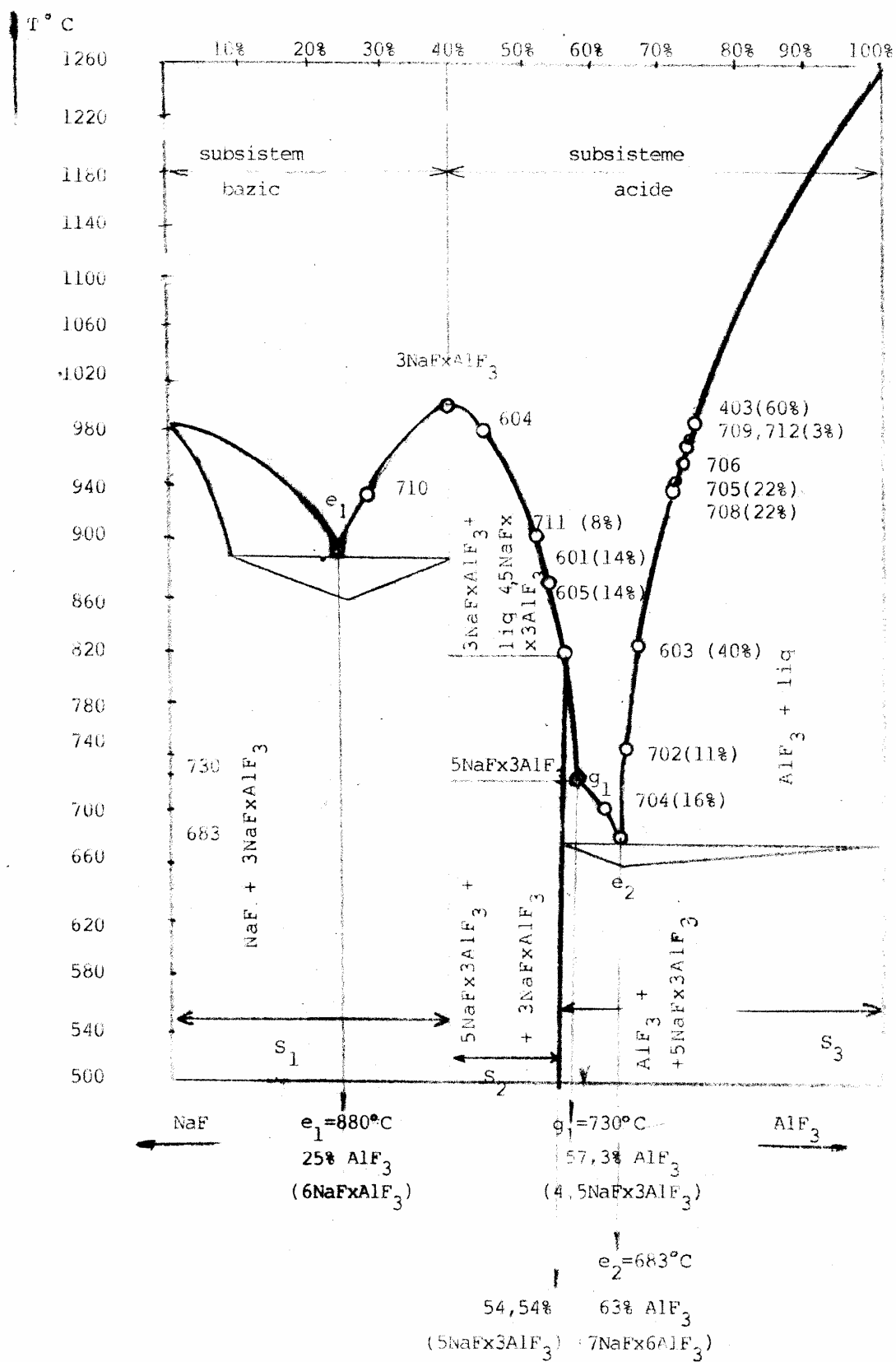


Figura 2.14. Diagrama de stare a sistemului NaF-AlF₃

Compusul incongruent $5\text{NaF} \times \text{AlF}_3$ nu are punct de topire deoarece se descompune la o temperatura inferioara acestuia; compusul nu este stabil peste punctul de incongruenta ($T_{g1}=730^\circ\text{C}$) descompunandu-se si peste acesta temperatura in cristale de criolit si o topitura liq_{g1} mai saraca in NaF ($\text{liq}_{4,5}\text{NaF} \times 3\text{AlF}_3$).

La racire, la temperatura $T_{g1}=730^\circ\text{C}$ se regenereaza compusul incongruent, cristalizandu-se totodata si criolitul pamna la atingerea temperaturii eutecticului $e_2 t_{e2}=630^\circ\text{C}$.

Masele cuprinse in sistemul binar $S_2(\text{AlF}_3=40\%\dots 54,54\%)$ sunt subordonate peritecticului binar g_1 care tine loc de eutectic subsistemului caracterizandu-se prin rebsobtia partiala a criolitului in liq_{g1} .

In cazul maselor din subsistemul binar S_3 (corespunzand $\text{AlF}_3=54,54\%\dots 100\%$), acesta este caracterizat de eutecticul e_2 ; dupa solidificare au drept constitienti finali compusii marginali sistemului ($\text{AlF}_3 + 5\text{NaF} \times 3\text{AlF}_3$).

Masele cuprinse intre $\text{AlF}_3=57,3\%\dots 100\%$ nu prezinta rebsorbtiei, iar masele cuprinse intre $\text{AlF}_3 =54,54\%\dots 57,3\%$ prezinta fenomenul rebsorbtiei totale a $5\text{NaF} \times 3\text{AlF}_3$ in liq_{g1} la temperatura de 730°C , acesta recrystalizand la solidificarea compozitiei eurtecticului e_2 la temperatura de 630°C .

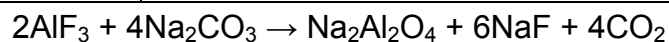
Masele subsistemului S_1 ($\text{AlF}_3=0\%\dots 40\%$) sistem binar - cu un compus congruent – sunt caracterizate de eutecticul $e_1(T_{g1}=880^\circ\text{C})$ care este cea mai coborata temperatura de topire a acestui subsistem.

Din solutia liquidus cristalizeaza compusii marginali ai subsistemului (NaF si $3\text{NaF} \times \text{AlF}_3$) compusi caracterizati prin temperaturi de topire mai ridicate.

Compusii si eutecticele mai importante ale sistemului binar $\text{NaF} - \text{AlF}_3$ prezentate anterior in cadrul diagramei de stare sunt:

- | | |
|--|--|
| • Compusul NaF | $T_{\text{top}} = 990^\circ\text{C}$ |
| • Eutecticul $e_1(6\text{NaF} \times \text{AlF}_3)$ | $T_{\text{top}} = 880^\circ\text{C}$ |
| • Criolitul ($3\text{NaF} \times \text{AlF}_3$) | $T_{\text{top}} = 1000^\circ\text{C}$ |
| • Compusul incongruent cu descompunere la | |
| • Peritecticul $g_1(4,5\text{NaF} \times 3\text{AlF}_3)$ | $T_{\text{top}} = 730^\circ\text{C}$ |
| • Eutecticul $e_2 (7\text{NaF} \times 6\text{AlF}_3)$ | $T_{\text{top}} = 683^\circ\text{C}$ |
| • Compus AlF_3 | $T_{\text{top}}=1257^\circ\text{C}(\text{cu sublimare})$ |

Favorizarea formarii unui a dintre compusii importanti ai diagramei binare este posibila printr-o dozare judicioasa a reactantilor AlF_3 si Na_2CO_3 si anume:



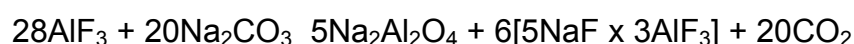
7% 17,66% 6,83% 10,5% 5,8%

$$\frac{\% \text{AlF}_3}{\% \text{Na}_2\text{CO}_3} = K_1 \approx 0,4$$



7% 8,43% 3,4% 8,75% 3,66%

$$K_2 = 0,793$$



7% 6,3% 2,44% 8,25% 2,62%

$$K_3 = 1,11$$



7% 5% 1,93% 8,1% 8%

$$K_4 = 1,4$$

Pentru explicitatea posibilitatii de valorificare a sirului de reactii prezentate mai sus s-a exprimat si dozarea corespunzatoare in procente. Astfel in cazul unui continut constant al componentei AlF_3 (7%), la o dozare a Na_2CO_3 de 0%; 17,66%; 11,16%; 6,3% sau 5% se opteaza pentru formarea unuia dintre compusi, obtinand totodata si temperatura de topire dorita dintr-o plaja foarte larga – 574°C – (intre 1257°C temperatura de topire a AlF_3 si cea de 683°C temperatura eutecticului $7\text{NaF} \times 6\text{AlF}_3$).

Utilizarea eficienta a eutecticelor binare $\text{NaF} - \text{AlF}_3$ este necesara pentru compensarea (prin formarea unor eutectice polinare) a refractaritatiei MgO si CaO componenti introdusi, respectiv rezultati din descompunerea in arc electric a CaCO_3 , materia prima mentinuta in pondere de 25-47% in cadrul variantelor semiindustriale datorita cuantumului marcat endoterm al reactiei de descompunere si a protectiei gazoase energetice conferite de gazele degajate ($\text{CO} + \text{CO}_2$). Intre primele aplicatii s-au evidentiat posibilitatea inlocuirii criolitului si a florinei, componente ce rezulta in cadrul reactiilor secundare ce au loc in masa de invelis, deoarece aceste materii prime de puritate tehnica concursa de asemenea la impurificarea cu fier a MD, fenomen dorit in cazul de față.

Experimentarile efectuate au permis realizarea unor retete preliminare de laborator, pentru electrozii Ei CuNiAl.

Reteta de produs

SC SUDOTIM AS SRL

SECRET DE SERVICIU

TIMISOARA, Bdv. MIHAI VITEAZU

FISA RETETA DE PRODUS : **ELECTROD COMPOZIT CU DEPUNERI DE TIP CuNiAl**

1. CARACTERISTICI TEHNICE : CONFORM DOCUMENTAȚIE DE ASIMILARE;
2. CARACTERISTICI TEHNICE VERGELE : Teavă de cupru cu miez de CuNiAl
Diametrele vergelelor: 4 mm; lungime vergelelor 350 mm.
3. INVELIS ELECTROZILOR: Bazic fluoro-calcic-criolitic ;
4. COEFICIENT DE INVELIRE : $D_{VI} / D_V = 1,7$;
5. COMPOZITIA MINERALOGICA A INVELISULUI, IN % MASICE

Componente formatoare ale sistemului zgurifiant	Componente	Dozare in retete	Funcție principală a componentilor		
Componente oxidice	CuNiAl	0...30%		Refinare dezoxidare, aliere	
	Ni+Fe	0...18%			
	Cu	0...5%			
	FeMnst	0...15%			
	FeSi45	0...5%			
	FeB	0...6%			
	Al	0...16%			
	Mn metalic	0...13%			
	C	0...6%	Degazare si protectie gazoasa		
	CaCO ₃	0...45%			
	Borax cristalizat	0...20%			

	Na ₂ CO ₃	0...10%			Zgurifianti, fondanti, decapanti
	Ferita borica	0...18%			
	Feldspat	0...15%			
	Al ₂ O ₃	0...3%			
	Rutil	0...10%			
	Hematita	0...6%			
	Magnezita	0...10%	Lianti		
	Ca(OH) ₂	0...15%			
	Na ₂ SiO ₃	0...15%			
	CMC	0...3%			
Floruri	AlF ₃	0...20%			
	3NaFxAlF ₃	0...30%			
	CaF ₂	0...20%			
	KF, NaF	0...5%			
	KBF ₄	0...7%			
Cloruri	KCl	0...36%			
	NaCl	0...35%			
	MgCl ₂	0...15%	Liant		
	LiCl	0...5%			

6. GRANULATIA MAXIMA A MINERALELOR: 0,3 mm;

7. PURITATEA COMPONENTELOR: Conform specificațiilor de aprovizionare a materialelor.

Aceste retete au fost utilizate in scopul fabricarii la scara de laborator a electrozilor mai sus mentionati pe baza itinerarului tehnologic prezentat in figura 10.

2.3.4 TESTAREA ELECTROZILOR EXPERIMENTALI DE LABORATOR

Electrozii astfel obtinuti, figura 2.15, au fost testati din punctul de vedere al comportarii la sudare de elaborator si din punctul de vedere al caracteristicilor la partenerii din consortiu.



Figura 2.15 Electrozi experimentali

Determinările efectuate au urmărit stabilirea parametrilor tehnologici de sudare și, conform STAS 1125/6 – 90, investigarea caracteristicilor tehnologice de sudare ale electrozilor lot experimental de laborator.

La stabilirea parametrilor tehnologici de sudare s-a avut în vedere bazicitatea învelișului, fiind cunoscut [1] că acesta determină natura curentului de sudare iar nivelul de aliere determină temperatura de preîncălzire și a temperaturii între rânduri.

Învelișul electrozilor elaborați are un caracter puternic basic. În cazul electrozilor bazici, sudarea cu acești electrozi se poate face numai în curent continuu și polaritate inversă [2].

Curentul de sudare s-a stabilit prin încercări succesive de sudare utilizând în acest scop valori ale curentului cuprinse între 80 și 250 A și s-a considerat ca interval corespunzător acela pentru care s-a observat o bună comportare la sudare, determinată conform STAS 1125/1 – 91 pct. 4.5.

Pentru electrozii cu diametrul de 4 mm acest interval este de 120 – 160 A. Acest fapt a dus la stabilirea curentului de sudare utilizat pentru experimentări la valoarea de 145 ± 5 A.

Pentru determinarea temperaturii de preîncălzire și a temperaturii între rânduri s-a avut în vedere nivelul de aliere al metalului depus și recomandările din literatură de specialitate. Acest fapt a evidențiat necesitatea efectuării unor încercări de sudare prin încărcare cu 3 straturi, proba 1 conform STAS 7356/1 – 80, la temperaturi de preîncălzire și între rânduri cuprinse între 150 și 650 °C. Stabilirea temperaturii minime de preîncălzire s-a făcut în urma examinării nivelului de fisurație al depunerilor. S-a considerat corespunzătoare acea temperatură pentru care în metalul depus nu s-au observat fisuri. Această temperatură a fost de 150 °C.



Parametrii tehnologici de sudare determinați în acest mod sunt inserați în tabel 2.8.

Tabelul 2.8

Marcaj	Diametru electrod	Parametrii tehnologici de sudare			
		Curentul de sudare, A	Natura curentu lui de	Temp de preân călzire, °C	Temp între rânduri succesiv °C
B	4	145 ± 5	cc ⁺ ₋	150	150

CONCLUZII

Cercetarile si experimentarile efectuate au avut ca rezultat:

- Elaborarea lotului experimental de laborator al electrozilor compoziți de tip CuNiAl
- Elaborarea rețetei de produs de laborator a electrozilor compoziți de tip CuNiAl
- Elaborarea unei tehnologii experimentale de laborator pentru fabricarea electrozilor de tip CuNiAl, cu înveliș compozit fluoro-calcic-ciolitic și vergele din țeavă de cupru cu miez de CuNiAl
- Elaborarea tehnologiei de recuperare și reutilizare a șpanului de CuNiAl pentru fabricarea electrozilor

BIBLIOGRAFIE

- [1] Binchiciu, H. ș.a. Incărcarea prin sudare cu arcul electric, Editura Tehnică, Bucuresti, 1992.
- [2] Marzea, St.s.a. Cercetari pentru elaborarea unui electrod de inalta puritate destinat inlocuirii aliajelor de argint pentru lipirea conductorilor electrice, Raport de cercetare SC Timasud SA Timisoara, 1993.

3. Elaborarea tehnologiei de încărcare prin sudare cu electrozi înveliți de tip CuNiAl

3.1. PARTICULARITĂȚILE SUDĂRII CU ARC ELECTRIC A ALIAJELOR DE CUPRU

3.1.1. Afinitatea față de oxigen

Aliajele de cupru au o mare afinitate față de oxigen, Cu din aceste aliaje formând cu oxigenul oxidul de cupru CuO. Acest oxid este redus de cupru și rezultă oxidul cupros Cu₂O, care nu este periculos fiindcă se distribuie uniform în masa de cupru sub formă globulară colorat albastrui. Structura globulară nu afectează nici rezistența nici plasticitatea MB.

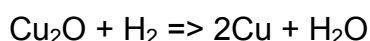
La sudare componentele se încălzesc și, sub acțiunea căldurii, se formează eutecticul Cu₂O + Cu, cu 3,45 %Cu₂O, respectiv 0,385 %O₂.

Acesta se precipită în straturi intercrystaline și, având temperatura de topire de 1.064 °C, mai joasă decât a cuprului (T_{top} = 1.083 °C) provoacă fisuri la cristalizare și, implicit, fragilizează MB la cald.

Fenomenul descris nu se poate elimina ci numai atenua folosind metale de adaos cu circa 1 %P. Fosforul este un dezoxidant activ și reduce cantitatea de eutectic în cusătură. Este mai bine să nu se sudeze decât componente de cupru, sau aliaje ale cuprului, la care conținutul în oxigen să fie sub 0,04 %.

3.1.2. „Boala de hidrogen”

Oxidul cupros, Cu₂O cauzează boala de hidrogen. Dacă în cursul sudării în spațiul îmbinării intră hidrogen, se produce reacția:



Apa astfel formată se vaporizează brusc la temperaturile înalte de la sudare și generează crăpături în masa componentelor de cupru.

Remediile sunt: reducerea cantității de oxigen sub limita de 0,04 % în cupru și sudarea în condiții de hidrogen VL (< 5ml/100g).

3.1.3. Pierderile de căldură la sudare

Cupru și majoritatea aliajelor sale au conductibilitate termică mare și deci pierderile de căldură la sudare sunt însemnate.

Compensarea fenomenului se face sudând cu surse puternice și concentrate. Pe lângă aceasta se aplică o preîncălzire.

Mărirea curentului de sudare I_s peste valorile normale nu este oportună, deoarece se obțin cusături cu pori și forme neregulate.

Temperaturile de preîncălzire recomandate la sudarea unor aliaje de cupru sunt prezentate în tabelul 3.1.1.

Tabelul 3.1.1. Temperaturile de preîncălzire recomandate
la sudarea unor aliaje de cupru

Aliajele	θ_{pr} [°C]
Cupru	300...530
Cu Si	20...65
Cu Sn	175...290
Cu Ni	20...110
Cu Zn	175...250
Cu Al	20...150

3.1.4. Poziția de sudare

Cuprul topit are mare fluiditate și de aceea cuprul și aliajele sale nu se sudează decât preferabil în poziție orizontală.

3.1.5. Rezistența mecanică

Sudurile cuprului nu au rezistența mecanică egală cu a MB, rezistența acestora scăzând cu (5...15) %, în funcție de aliajul sudat. Situația se rezolvă prin proiectarea corespunzătoare a sudurilor, pentru a se compensa scăderea caracteristicilor de rezistență.

3.1.6. Detensionarea după sudare

Detensionarea după sudare de face la toate aliajele cuprului, timp de (15...30) min, la temperaturile recomandate în tabelul 3.1.2.

Tabelul 3.1.2. Temperaturile de detensionare după sudare

Aliajele	θ_D [°C]
Cupru	370...600
Cupronichel	600...870
Alamă	430...600
Bronz cu Si	480...700
Bronz cu Al	680...820

3.2. MATERIALE DE BAZĂ SUPUSE ÎNCERCĂRILOR (ELICI NAVALE)

3.2.1. Dimensiuni și compoziție chimică

Au fost supuse încercărilor plăci din aliajul CuNiAl având dimensiunile 300 x 150 x 30 mm turnate la firma S.C. Orion S.R.L. Cornu, județul Prahova.

SC ORION SRL

Date: 31.08.2007
Time: 12:17:30

List of Analyses

Nr. sarja A-1123

Program Cu-70-F
STAS- 198/2-81
Calitate 74- CuAl9Fe5Ni5

	Zn %	Pb %	Sn %	P %	Mn %	Fe %	Ni %	Si %	Mg %	Cr %	As %
Value	0.280	0.189	0.240	0.0140	0.514	4.86	4.82	0.0670	0.00620	0.00200	0.00230
	Al %	Cu %									
Value	9.33	79.7									



SC ORION SRL

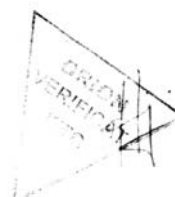
Date: 31.08.2007
Time: 10:29:40

List of Analyses

Nr. sarja A-1124

Program Cu-70-F
STAS- 198/2-81
Calitate 74- CuAl9Fe5Ni5

	Zn %	Pb %	Sn %	P %	Mn %	Fe %	Ni %	Si %	Mg %	Cr %	As %
Value	0.275	0.234	0.285	0.0130	0.408	4.42	4.56	0.0852	0.00240	0.0200	0.0210
	Al %	Cu %									
Value	9.67	80.0									



Compoziția chimică a materialului de bază supus încercărilor este prevăzută în certificatul de calitate al producătorului anexat. S-au elaborat două aliaje și anume șarja A-1123 și șarja A-1124.

În figura 3.2.1 se prezintă plăcile turnate înainte de prelucrare. Acestea au fost prelucrate prin strunjire frontală la grosimile de 20 mm și 25 mm, conform figurii 3.2.2.



Fig. 3.2.1. Plăcile de bronz turnate.



Fig. 3.2.2. Strunjirea plan paralelă a plăcilor din bronz.

3.2.2. Aliaje de Cu folosite în industria navală pentru elici conform Germanischer Lloyd

Germanischer Lloyd folosește 4 tipuri de aliaje pentru fabricarea elicelor navale. Aliajele fabricate în cadrul proiectului sunt comparabile din punct de vedere al compoziției chimice cu cele recomandate de registrul naval german.

Tabelul 3.2.1. Compozițiile chimice ale aliajelor pe bază de cupru pentru elici navale

Aliajul turnat recomandat și elaborat	Compoziția chimică, %			
	Cu	Sn	Zn	Pb
	Ni	Fe	Al	Mn

		Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006		
CU 1	52 - 62	0,1 - 1,5	35 - 40	max 0,5
Bronz cu Mn	max 1,0	0,5 - 2,5	0,5 - 3,0	0,5 - 4,0
CU 2	50 - 57	0,1 - 1,5	33 - 38	max 0,5
Bronz cu Ni -Mn	2,5 - 8,0	0,5 - 2,5	0,5 - 2,0	1,0 - 4,0
CU 3	77 - 82	max 0,1	max 1,0	max 0,03
Bronz cu Ni - Al	3,0 - 6,0	2,0 - 6,0	7,0-11,0	0,5 - 4,0
CU 4	70 - 80	max 1,0	max 6,0	max 0,05
Bronz cu Mn - Al	1,5 - 3,0	2,0 - 5,0	6,5 - 9,0	8,0-20,0
A-1123	79,7	0,24	-	0,189
	4,82	4,86	9,33	0,5
A-1124	80,0	0,28	-	0,230
	4,56	4,42	9,67	0,4

În tabelul 3.2.1 se prezintă compoziția chimică a celor 4 aliaje recomandate de registrul german și simbolizate cu indicativele CU1, CU2, CU3 și CU4. În același tabel se prezintă și compoziția chimică a aliajelor celor două șarje A-1123 și A-1124. Se observă că aliajele produse de noi se apropie foarte mult din punct de vedere a compoziției cu aliajul CU3.

3.2.3. Alte aliaje navale din cupru

În industria navală se folosesc și alte bronzuri în special pe bază de nichel și aluminiu, prezentate sub aspectul caracteristicilor mecanice în tabelul 3.2.2.

Tabelul 3.2.2.

Caracteristica mecanică	Cupronichel Cu 70% Ni 30%	Bronz cu aluminiu Cu 91% Al 7%, Fe 2%
$R_m, \text{N/mm}^2$	588...385	560...504
$R_{p0.2}, \text{N/mm}^2$	523...126	350...266
$A_5, \%$	3...36	30...42
$\lambda_e *$	4,6	14
$\lambda_t *$	7,5	20

Notă: λ_e și λ_t *sunt conductibilitățile electrice și termice și sunt date în % față de cele ale cuprului electrolitic.

3.3. INSTRUCȚIUNI PENTRU INSPECTAREA ELICELOR NAVELOR MARITIME ÎN EXPLOATARE

3.3.1. Indicații generale

Scopul inspecțiilor este de a asigura la intervalele de timp prevăzute de Regulile R.N.R. partea A - I, tabelul 3.2.3 (vezi 5.4.3 la 5.4.6) că starea generală a arborilor port-elice și a elicelor este satisfăcătoare, prevenindu-se astfel eventualele accidente produse de coroziuni, uzură sau avarii (vezi și C.1.2.2. și C.1.2.6).

Toate tipurile de inspecție ale arborilor port-elice se efectuează cu nava pe doc sau cală. Având în vedere importanța arborilor port-elice și a elicelor, acestea nu pot fi inspectate complet și îngrijit decât atunci când arborele este complet extras.

3.3.2. Inspecțiile parțiale ale arborilor port-elice și elicelor

Elicile vor fi inspectate la fiecare doi ani de la (re) clasificare cu nava pe doc sau pe cală.

Inspecția constă în:

- examinarea elicei în stare montată pe arbore la care se va urmări existența eventualelor defecte ca: rupturi, deformări, fisuri, dislocări de material de pe dosul palelor ca urmare a funcționării elicei în regim cavitațional;
- proba hidraulică pentru verificarea dispozitivului de etanșare de la butucul elicei la o presiune de 2 bari;
- proba hidraulică pentru verificarea dispozitivelor de etanșare la palele elicilor cu pas reglabil la o presiune egală cu înălțimea coloanei de ulei până la tancul gravitațional sau cu presiunea pompei de ungere a butucului.

3.3.3. Inspecțiile complete ale arborilor port-elice și elicelor

Pentru inspecție, nava va fi pe doc sau pe cală. Elicele se vor demonta de pe conul arborelui. În cazul elicelor cu pas reglabil, se vor demonta palele de butuc și butucul de pe arbore.

Se vor folosi metode de control nedistructiv ca:

- ❖ examinare vizuală;
- ❖ lichide penetrante;
- ❖ măsurători.

Inspectorul va controla existența următoarelor eventuale defecte:

1. La elicele cu pale fixe:

- o îndoiri, fisuri, dislocări de material pe conturul palelor;
- o dislocări de material pe dosul palelor ca urmare a funcționării în regim cavitațional;
- o fisuri în zona de racordare a palelor cu butucul;
- o fisuri în zona canalului de pană;
- o starea tehnică a suprafeței interioare a conului elicei;
- o măsurători, (atunci când inspectorul consideră necesar, în vederea verificării eventualei modificări ale pasului sau a căderii palelor);
- o echilibrarea statică (dacă este cazul);
- o proba hidraulică (a se vedea pct. 5.2.2).

2. La elicele cu pas reglabil:

- îndoiri, fisuri, dislocări de material pe conturul palelor;
- dislocări de material pe dosul palelor ca urmare a funcționării în regim cavitațional;
- starea tehnică a mecanismului de reglare a pasului;
- starea tehnică a dispozitivelor de etanșare la pale;
- starea tehnică a șuruburilor de fixare a butucului pe arbore și a palelor pe butuc;
- proba hidraulică la butucul elicei cu palele montate;

- cântărirea paletelor (dacă este cazul).

3.3.4. Elice - Condiții de funcționare, uzuri și avarii, reparații

3.3.4.1. Condiții de funcționare

Elicea este un organ supus la solicitări ciclice foarte mari, care funcționează în mediul coroziv al apei de mare și care, datorită amplasării sale, este foarte expus la șocuri. O piesă solicitată mecanic care lucrează în mediul coroziv este expusă, de la o anumită valoare a eforturilor, unei coroziuni fisurante sub tensiune, combinat cu efectul variației solicitărilor, poate provoca apariția fisurilor de oboseală în condiții de coroziune, ducând în final la ruperi.

Riscuri de deterioare nu este același pentru toate părțile elicei, deoarece acestea nu lucrează în condiții identice.

1. Butucul: în butuc apar tensiuni importante datorită montării elicei pe axul port-elice. Interiorul butucului nefiind în contact cu apa de mare, nu prezintă pericol de corodare. Suprafața exterioară, excluzând racordarea cu fața activă a palei, nu este puternic solicitată și datorită vitezei mici periferice în această zonă, eroziunea este scăzută.

2. Palele: fața de presiune a paletelor până la o distanță 0,4 R de la axa butucului, cuprinzând și racordarea cu butucul, dar excluzând marginile paletelor este zona cea mai solicitată a elicei, fiind supusă la solicitări mari de tracțiune cu variații ciclice importante

În această porțiune a paletelor acțiunea apei de mare este destul de redusă din cauza vitezei de rotire relativ scăzute.

La distanța de peste 0,4 R, solicitările de tracțiune scad rapid.

Marginile paletelor sunt supuse la eforturi de tracțiune relativ mici, cu variații ciclice reduse, dar sunt expuse la o acțiune puternică a apei de mare. În afară de aceasta în cazul în care se produc vibrații ale paletelor, marginile acestora sunt supuse la variații mari de tensiune în special între 0,5 R și 0,7 R.

Fața de sucțiune a paletelor, cu excepția de mai sus a marginilor, este puțin solicitată mecanic, însă este supusă fenomenului de cavitație

3.3.4.2. Materiale

1. Aliaje de cupru: sunt 4 categorii cu compoziții chimice și caracteristici mecanice conform Regulilor R.N.R. - M/82, A-XIII, cap. 4.3, tab. 4.3.2 și 4.3.3.

Caracteristicile din tabel se referă la probe turnate separat de elice, din aceeași oală de turnare. În cazul probelor appendice la elice sau prelevate chiar din elice, caracteristicile mecanice pot fi mai mici decât valorile prescrise cu până la 10%.

2. Oțeluri: oțelurile folosite pentru elici se pot grupa în 5 categorii (a se vedea Reguli R.N.R. M/82 A-XIII-3.12), oțeluri carbon, oțeluri slab aliate și oțeluri inoxidabile. Compozițiile chimice și caracteristicile mecanice ale celor 5 categorii de oțeluri pentru elice trebuie să corespundă cerințelor din Reguli A-XIII-3.12.

3. Fonta: se folosește la execuția elicelor pentru nave mici și la acestea, într-o măsură redusă.

Caracteristicile mecanice minimale sunt:

- rezistența la rupere la tracțiune : 275 N/mm²
- rezistența de rupere la încovoiere : 470 N/mm.

3.3.4.3. Uzuri și avarii

Coroziunea elicelor din bronz, dacă elicea este imobilă sau are turație scăzută în apă de mare, este de ordinul 0,05 mm/an. Către extremitățile paletelor această uzură este

de (3 - 4) ori mai mare pentru elicile în funcțiune, fapt care conduce la dispariția luciului, apariția rugozității în regiunile menționate, după câteva luni de funcțiune ale elicelor noi.

La această uzură normală se adaugă uneori o uzură locală sub formă de ciupituri (pitting) în zone dincolo de 0,51 R pe suprafețele marginilor (bordurilor) palelor de asemenea datorită coroziunii. Aceste ciupituri se adâncesc datorită depresiunilor ce apar în interiorul lor, rugozitatea generală crește și performanțele elicei sunt mult afectate.

La andocare se recomandă ca aceste ciupituri să fie polizate pentru netezirea marginilor cavităților. Uneori se folosesc chituri speciale, însă acestea nu sunt o soluție de durată.

Uneori apare fenomenul de cavitație. În anumite locuri de pe fața de aspirație a palei, apa de mare pierde contactul cu suprafața palei, se formează un vid apoi bule de vaporii de apă ce apoi se resorb. Implozia acestor bule dezvoltă o energie de impact care produce eroziunea materialului. Apariția cavitației se datorează funcționării palelor elicei într-un curent de siaj complex și variabil, peste o anumită turație, fiind deci în funcție de formele navei ca și materialul din care este executată elicea. Practic, nu există posibilități eficiente de luptă împotriva cavitației pentru o elice dată, la care apare acest fenomen.

Datorită unor reparații executate necorespunzător pot rămâne defecte locale ca de exemplu fisuri. În funcțiune, aceste fisuri, mai ales dacă sunt pe fața de presiune a palei, pot să ducă la corodarea fisurantă sub tensiune și în final la ruperea prin oboseală a palei. De asemenea această rupere prin oboseală poate să apară și din cauza unor tensiuni reziduale rămase de la turnare sau reparație.

Ruptura prezintă la aspect două zone bine conturate:

- o zonă cu granulație fină ce pornește de obicei de la un defect mic de pe suprafața de presiune, sau din apropierea acesteia, care corespunde porțiunii fisurate;
- o zonă cu granulație mare care corespunde porțiunii rupte brusc.

Se recomandă să se facă întotdeauna identificarea defectelor de suprafață, mai cu seamă a fisurilor reziduale în zonele reparate, cu ajutorul lichidelor penetrante - în cazul elicilor din bronz prin atacare cu clorură ferică.

Ruperea sau îndoirea palelor, sau a unor bucăți din ele, se poate produce și datorită unor accidente de navigație ca: eșuări, loviri de obiecte imerse, cabluri înfășurate de elice. În aceste cazuri de rupturi prin șoc violent este necesar să se facă inspectarea arborelui port elice pentru a se asigura că acesta nu a avut de suferit. La elicile cu pale orientabile pot apărea fisuri situate cel mai frecvent în pozițiile indicate în figura 3.3.1.

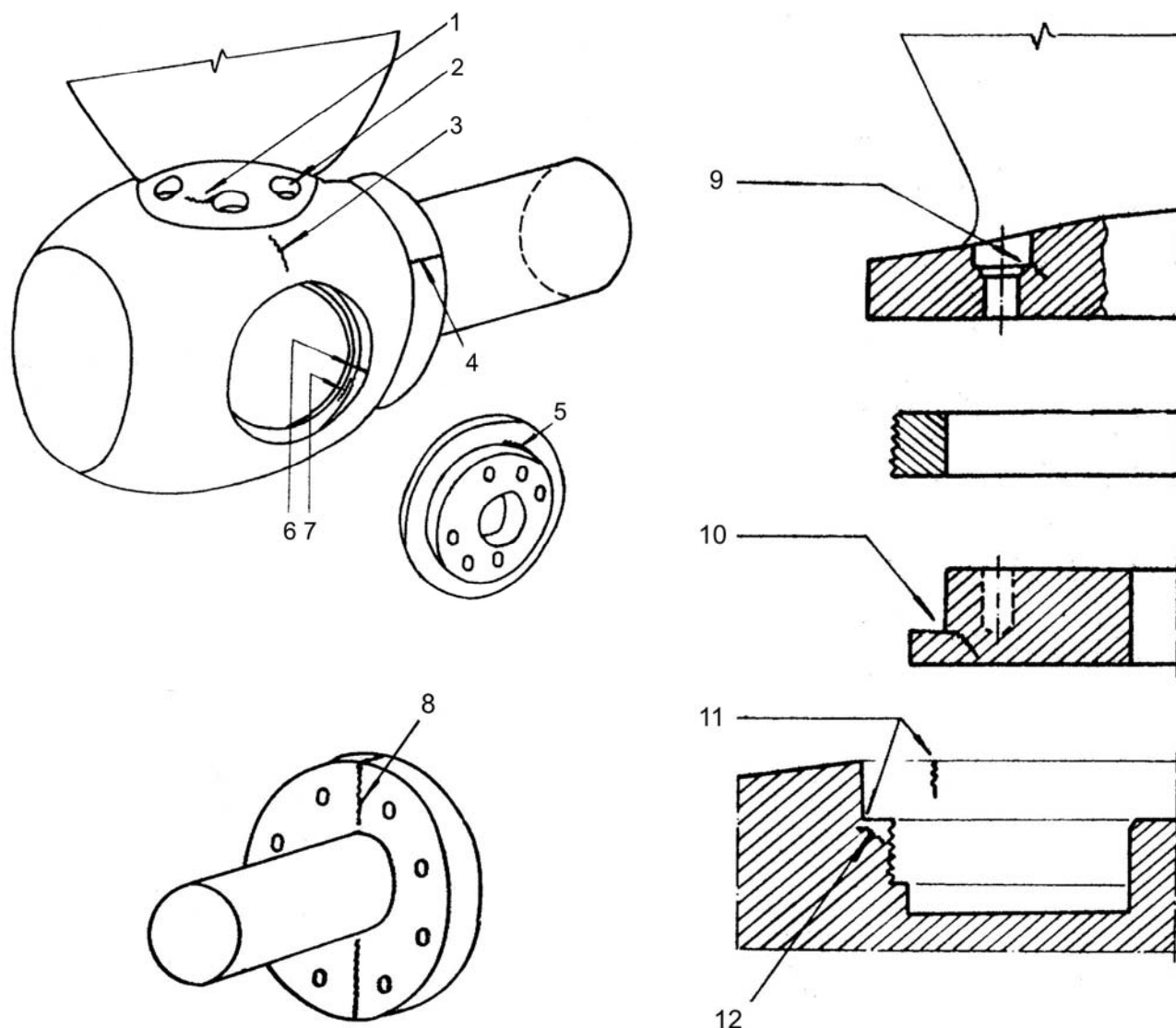


Fig. 3.3.1. Localizarea fisurilor la elicele cu pale orientabile: 1- fisuri între găurile flanșelor palelor; 2- fisuri în găurile găurilor flanșelor palelor; 3- fisuri între deschiderile pentru flanșele palelor; 4- coroziuni pe flanșa axului port-elice; 5- fisuri în inelul de fund al lagărului; 6- fisuri în deschiderile pentru flanșele palelor; 7- fisuri în filetul pentru inelul de fixare al lagărului; 8- fisuri în flanșa axului port-elice; 9- fisuri în flanșa palei; 10- fisuri în inelul de fund al lagărului; 11, 12- fisuri în butuc.

3.3.4.4. Repararea elicelor

1. Demontarea: este indispensabilă demontarea elicilor pentru a permite inspectarea arborilor port elice, ca și pentru executarea anumitor reparații la elice. În general este preferabil ca repararea elicilor să se facă în atelier întrucât dificultățile de execuție cu elicea pe loc pot duce la o calitate necorespunzătoare. Totodată încălzirile necesare detensionărilor, chiar pentru reparații aparent minore nu se pot face în bune condițiuni decât în atelier.

Pentru demontare, încălzirea butucului se face la o temperatură de max. 150 °C, evitându-se surse concentrate.

Încălzirea neregulată și prea energică a butucului este periculoasă în special pentru elicele din aliaje categoria 1 (alame cu Mn) și 2 (alame cu Ni și Mn), întrucât se pot produce amorse în fisuri, care după remontare se măresc.

Se recomandă ca încălzirea să se facă cu rezistențe electrice sau aburi. Încălzirea se poate face și cu flacăra aer-gaz. Viteza de încălzire nu va depăși 50°C/h . Este total nerecomandată încălzirea oxi-gaz.

2. Repararea elicilor, din aliaje de cupru

Pentru stabilirea proporției reparațiilor admise și metodei de reparare elicea se împarte în funcție de gradul de solicitare, în trei zone de severitate conform figurii 3.3.2.

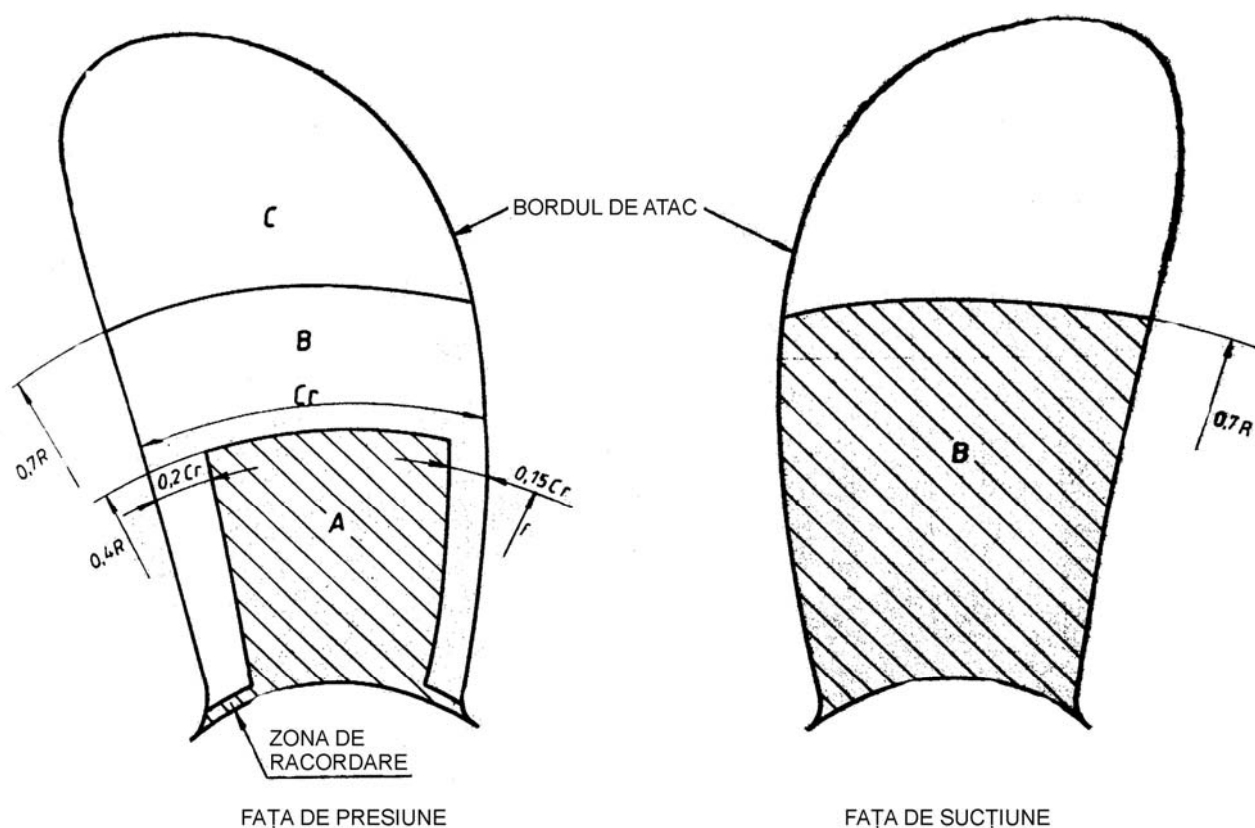


Fig. 3.3.2. Zonele de severitate ale elicei în funcție de gradul de solicitare.

a. Reparații admise în zona A

În mod normal nu se admit reparații prin sudură în această zonă. Defectele care nu sunt mai adânci de $S/50$ mm sau 2 mm (valoarea cea mai mare) sub grosimea minimă locală a palei S, calculată conform Regulii R.N.R. M/82 A VII-3 pot fi remediate prin polizare. Pori cu diametrul mai mic de 1 mm și alte defecte similare izolate pot fi acceptate.

Polizarea trebuie făcută cu o presiune moderată și o viteză de rotație cât mai mare, cu piatră fină. Conturul depresiunilor trebuie să fie cât mai pierdut. După polizare se va face controlul vizual și cu lichide penetrante. Posibilitatea reparării defectelor mai adânci în această zonă va fi analizată de la caz la caz de R.N.R.

b. Reparații admise în zona B

Defectele care nu sunt mai adânci $S/40$ mm sau 2 mm (valoarea cea mai mare) sub grosimea minimă locală a palei S, calculată conform Regulii R.N.R. M/82 A-VII-3 pot fi remediate prin polizare cu respectarea condițiilor sus menționate.

Repararea prin sudură a unor astfel de defecte, sau altor mici defecte din motive de aspect, trebuie evitată.

Defectele din această zonă cu adâncimea mai mare de $S/40$ sau 2 mm, dar nu mai adânci de $S/3$ se pot repara prin sudură, dacă extinderea lor nu este exagerată.

Posibilitatea reparării defectelor mai adânci sau mult extinse în această zonă va fi analizată de la caz la caz de R.N.R.

c. Reparații admise în zona C

Reparațiile prin sudură sunt în general permise în această zonă. Sudurile în interiorul găurii din butucul elicei, dacă defectele nu sunt exagerat de mari pot fi executate fără tratament termic ulterior. În exteriorul butucului și în special în zonele cuprinse între porțiunile de racordare a două pale vecine trebuie luate toate măsurile pentru evitarea fisurilor produse de tensiunile interne datorite sudurii și se vor face preîncălziri și tratamentul termic ulterior sudării.

Pentru reparații minore, adică repararea muchiilor și reparații mici în zona C, sudarea poate fi executată fără demontarea elicei de pe ax. Pentru alte reparații, sudarea va fi executată cu elicea în poziție orizontală deci extrasă de pe ax.

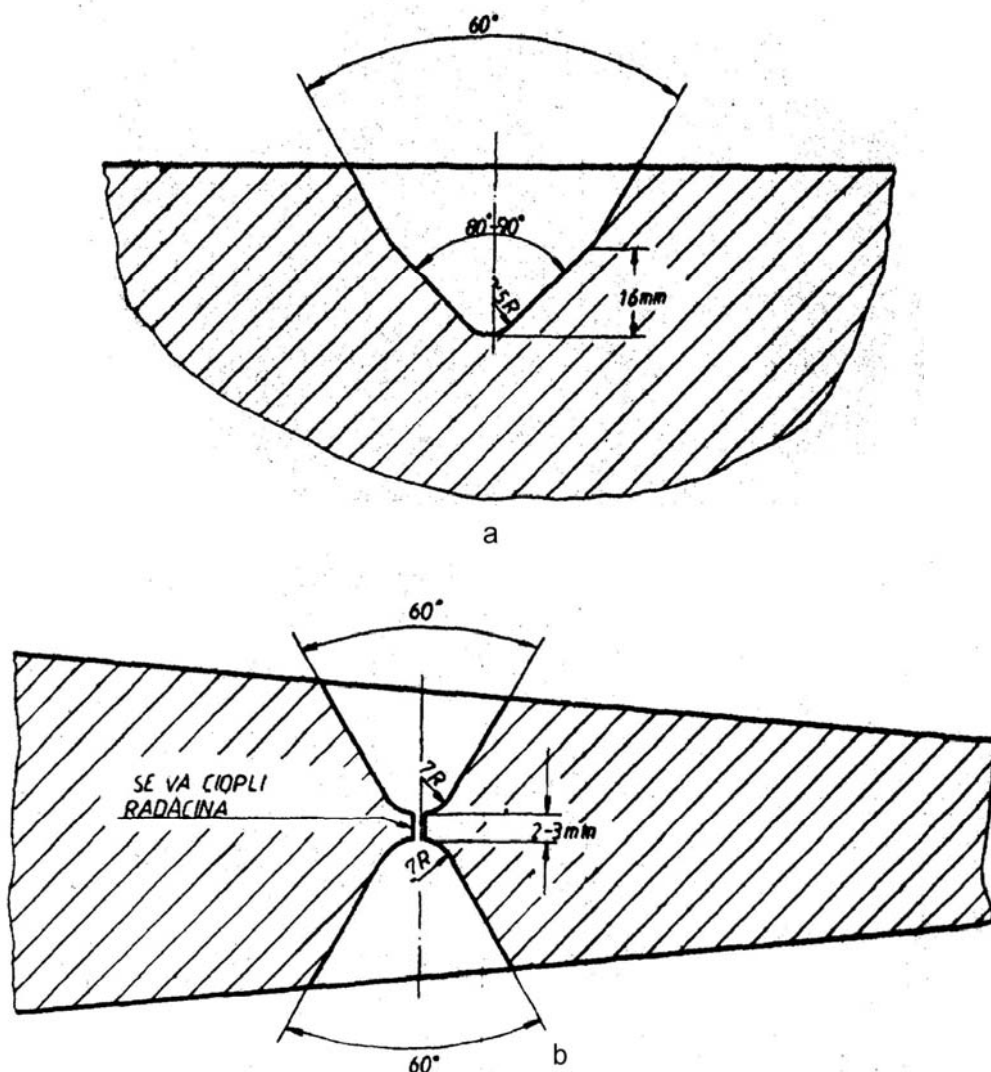


Fig. 3.3.3. Pregătirea șanțului (a) și a îmbinării (b) pentru repararea prin sudare.

d. Pregătirea pentru sudare

După ce efectul a fost îndepărtat complet, se execută prelucrarea conform figurii 3.3.3, iar pentru a exista siguranța că nu au rămas defecte se execută un control cu lichide penetrante.

e. Preîncălzirea

Înainte de sudare și pe toată durata sudării, se face preîncălzirea regiunii ce urmează să fie sudată ca și a unei zone adiacente de 300 mm de fiecare parte a sudării (sau pe toate direcțiile). Preîncălzirea trebuie făcută astfel încât gradientul de temperatură să nu depășească 55 °C pe 300 mm și trebuie controlată permanent cu creioane termice sau alte mijloace.

Tabelul 3.3.1. Recomandări privind procedeul de sudare, materialul de sudare și temperaturile de preîncălzire și de detensionare în funcție de categoria aliajului de cupru

Categoria aliajului	Procedeul de sudare	Materialul de sudare	Temperatură de preîncălzire, °C	Temperatură de detensionare, °C	Observații
1	Sudare cu electrozi înveliți	-	-	-	-
	MIG	Bronzuri cu Al	150 - 250	350 - 550	-
	WIG sau TIG	Bronzuri cu Al; Bronzuri cu Mn			Numai pentru grosimi sub 30 mm
	Sudare oxigaz	Bronzuri cu Mn			
	Sudare cu electrod din grafit	Bronzuri cu Al; Bronzuri cu Ni Al Bronzuri cu Mn, Al	150 - 250	315 - 430	-
2	Sudare cu electrozi înveliți	Bronzuri cu Al	-	-	-
	MIG	Bronzuri cu Al	-	-	-
	WIG sau TIG	Bronzuri cu Al Bronzuri cu Ni, Mn	150 - 250	350 - 550	-
	Sudare oxigaz	Bronzuri cu Ni, Mn			Numai pentru grosimi sub 30 mm
	Sudare cu electrod din grafit	Bronzuri cu Al Bronzuri cu Ni, Al Bronzuri cu Mn, Al	150 - 250	370 - 430	-
3	Sudare cu electrozi înveliți	Bronzuri cu Al	50 - 150	500 - 650	Detensionarea nu este obligatorie
	MIG	Bronzuri cu Ni, Al			
	WIG sau	Bronzuri			

	TIG	cu Mn, Al			
	Sudare cu electrod din grafit	-	-	-	-
4	Sudare cu electrozi înveliți	Bronzuri cu Mn, Al	100 - 250	440 - 600	-
	MIG				
	WIG sau TIG				
	Sudare cu electrod din grafit				

Valorile temperaturilor de preîncălzire sunt date din tabelul 3.1 în funcție de categoria aliajului din care este confecționată elicea.

Preîncălzirea se va efectua cu rezistențe electrice sau arzătoare aer-gaz, evitându-se arzătoarele oxi-gaz care pot provoca concentrări prea mari de căldură. Viteza de preîncălzire, respectiv răcire, după sudare nu va depăși 50 °C/h.

f. Materiale de sudare

În funcție de tipul aliajului și procedeul de sudare, în tabelul 3.1 sunt indicate materialele de sudare necesare.

Electrozii înveliți vor fi uscați înaintea sudării conform prescripțiilor fabricantului.

g. Sudarea

Procedeele de sudare acceptate sunt acelea care produc o topire rapidă și localizată, indicate în tabelul 3.3.1

La sudarea cu electrozi din grafit, sursa este un generator de curent continuu polaritate inversă și se recomandă respectarea indicațiilor din tabelul 3.3.2

Tabelul 3.3.2. Parametri la sudarea cu electrozi din grafit

Grosimea piesei, mm	Diametrul vergelei de metal mm	Intensitatea medie a curentului, A	Diametrul electrodului din grafit, mm
5 - 6	3 - 4	120	4 - 8
6 - 12	4 - 5	160	8 - 10
12 - 20	4 - 8	200	10 - 12
20 - 30	4 - 8	250 - 270	14 - 16
30	4 - 10	min. 300	14 - 16

Sudarea oxi-gaz se poate accepta la aliajele de categoria 1 și 2 pentru reparații făcute în zona C ca condiția ca grosimea piesei în zona respectivă să nu depășească 30 mm. Pentru micșorarea pericolului de fisurare sau de deformare, viteza de depunere a rândurilor de sudură trebuie să fie mică, lucru care se impune cu deosebire aliajelor de categoria 3. Primul strat de sudură nu se ciocănește și același lucru se aplică ultimului strat în cazul în care nu este necesară detensionarea (aliaje de categoria 3). Pentru straturile intermediare ciocănirea se face sau nu, la alegere.

După sudare, elicea se răcește cât mai lent până la temperatura min. 100 °C. Acest lucru se realizează prin acoperirea regiunii date cu păături izolatoare.

h. Detensionarea

După sudare elicea se supune unui tratament termic de detensionare, în limitele de temperaturi indicate în tabelul 3.3.2.

Tabelul 3.3.2. Timpi de detensionare

Temperatura de detensionare, °C	Aliaje categoriile 1 și 2		Aliaje categoriile 3 și 4	
	Timp pentru fiecare 25 mm grosime, ore	Timp maxim, ore	Timp pt fiecare 25 mm grosime, ore	Timp maxim, ore
350	5	15	-	-
400	1	5	-	-
450	1/2	2	5	15
500	1/4	1	1	5
550	1/4	1/2	1/2	2
600	-	-	1/4	1
650	-	-	1/4	1/2

Detensionarea elicilor din aliaje de categoria 1, 2 și 4 este obligatoriu deoarece aceste materiale sunt sensibile la coroziunea fisurantă și tensiune; pentru cele din categoria 3 detensionarea nu este obligatorie, ele nemanifestând această sensibilitate.

Timpul de încălzire trebuie să asigure o temperatură uniformă și pătrunderea completă pe toată secțiunea zonei reparate. În funcție de materialul elicei și de temperatura la care se face detensionarea, în tabelul de mai jos sunt indicați timpii de detensionare comandați.

Desigur, pentru alegerea timpilor de detensionare trebuie să se țină seama de prescripțiile furnizorilor elicei, dacă acestea există.

Se recomandă ca detensionarea să se facă în cuptoare și în acest caz, răcirea piesei trebuie să se facă cu o viteză care să nu depășească 50 °C/oră, pentru evitarea formării de tensiuni interne.

În cazul în care detensionarea în cuptor nu este posibilă, aceasta se poate face încălzindu-se zona reparată, în condițiile indicate la preîncălzire că prin încălzirea unei benzi de cel puțin 300 mm de o parte și de alta respectând un gradient de temperatură de maxim 55 ° pe 300 mm. Se recomandă încălzirea cu rezistențe electrice sau aer-gaz.

Răcirea se va face foarte lent utilizând învelitori din materiale izolatoare. Pentru evitarea deformării palelor, la temperaturi ridicate se pot folosi porți de susținere a palelor.

i. Supraturarea

Se folosește pentru elicele din aliaje de categoria 1 sau 2 pentru înlocuirea extremităților palelor sau pentru adăugarea bucăților rupte din pale. Aliajul de adaos trebuie să aibă aceeași compoziție chimică cu materialul elicei, iar verificarea caracteristicilor mecanice se face dintr-o probă turnată separat.

Turnarea metalului topit se face într-o formă plasată pe pală în locul respectiv, cu toate precauțiile necesare pentru evitarea introducerii impurităților și incluziunilor. În prealabil elicea se supune la o preîncălzire la o temperatură de (260 - 320) °C, urmând indicațiile date mai sus pentru preîncălziri. După executarea turnării, se face prelucrarea piesei adăugate după forma necesară. În final trebuie ca elicea, sau porțiunea respectivă să fie detensionată conform indicațiilor date mai sus pentru detensionări.

În general acest procedeu prezintă deficiența că, datorită limitelor strânse ale compoziției chimice pentru aliajele din categoria 1 și 2, există riscul ca la turnare să aibă loc pierderi importante de Zn și Al, aliajul rămânând fragil chiar și după tratamentul termic.

Metoda nu se aplică butucului elicei, întrucât apar deformări importante datorită temperaturilor ridicate. După terminarea reparației este necesară verificarea echilibrării statice a elicei.

j. Îndreptarea

Operația de îndreptare se execută cu greutate aplicate dinamic sau static, cu dispozitive de redresare sau cu prese. Nu se admite îndreptarea cu ciocanul.

Îndreptarea la rece se poate face numai pentru reparații minore cu vârful sau muchiile palelor, cu mijloace statice (presare lentă) și urmată întotdeauna de tratament termic de detensionarea pentru aliajele din grupele 1, 2 și 4 (a se vedea tabelul 3.1)

Îndreptarea la cald se face după încălzirea regiunii îndoite și a unei zone de minimum 500 mm de fiecare parte, la temperaturile indicate în tabelul 3.3.3.

Tabelul 3.3.3. Temperaturile de îndreptare în funcție de categoria aliajului

Categoria aliajului	1	2	3	4
Temperatura de îndreptare, °C	500-800	500-800	700-900	700-850

Încalzirea trebuie să fie executată în condițiile indicate mai sus la preîncălzirea pentru repararea prin sudură, un timp suficient pentru a se asigura pătrunderea întregii secțiuni. Temperatura va fi menținută în limitele indicate tot timpul îndreptării.

Pentru asigurarea unei răcirii lente, zona încălzită, după îndreptare, va fi acoperită cu pături din material izolant.

3.4. INSPECTAREA SI REPARAREA ELICELOR TURNATE DIN ALIAJE DE CUPRU

Prezentele cerințe se aplică la inspectarea și repararea elicelor noi turnate din aliaje de cupru sau din oțeluri inoxidabile.

3.4.1. Compoziția chimică și caracteristici mecanice

Compoziția chimică, caracteristicile mecanice și volumul de probe vor fi în conformitate cu Regulile R.N.R., partea A - XIII, capitolul 4.3.

3.4.2. Structura metalografică

3.4.2.1. Determinarea zincului echivalent

La aliajele categoria 1 și categoria 2 zincul echivalent, definit prin formula de mai jos, nu va depăși valoarea de 45 %.

$$Zn_{echiv} = 100 - \frac{100 \times \%Cu}{100 + A}, (\%)$$

unde A este suma algebrică a următorilor factori:

- 1 X %Sn;
- 5 X %Al;
- (- 0,5) X %Mn;
- (- 0,1) X %Fe;

(- 2,3) X %Ni.

3.4.2.2. Determinarea metalografică a conținutului de fază α

În cazul în care o elice din aliaj categoria 1 sau categoria 2 suferă un tratament termic este indicat să se facă determinarea metalografică a conținutului de fază α care trebuie să fie cel puțin 25 %.

3.4.3. Inspectare

3.4.3.1. Zone de severitate

Corespunzător gradului de periculozitate al defectelor în diverse locuri, suprafața elicei este împărțită în trei zone A, B, C (Fig. 3.4.1).

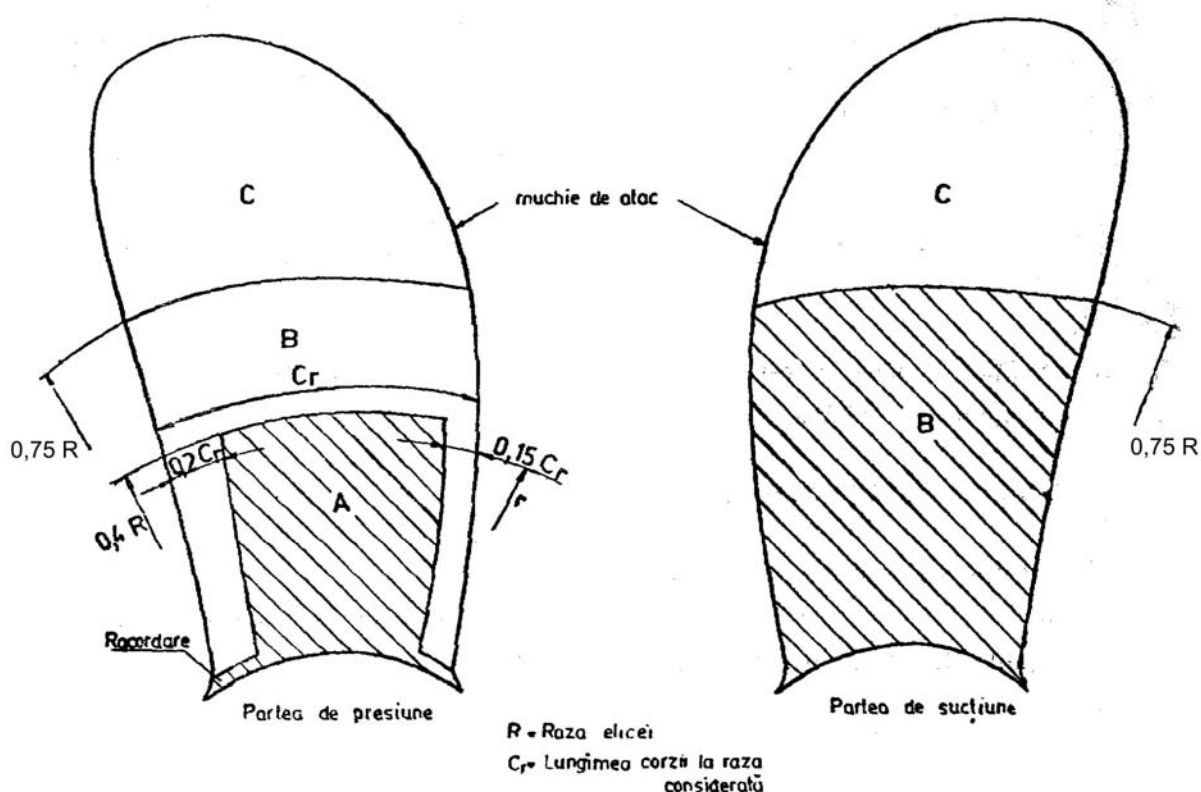


Fig. 3.4.1. Împărțirea suprafeței elicei în cele trei zone.

Aceste zone sunt definite după cum urmează:

Zona A este suprafața de pe fața de presiune a palei, de la butuc, incluzând și racordarea, până la 0,4 R și limitată pe fiecare parte de liniile aflate la o distanță de 0,15 Cr de la muchea de atac și de 0,20 Cr de la muchea de fugă (R- raza elicei; Cr- lungimea corzii la raza r considerată).

Zona B este suprafața rămasă pe fața de presiune de la bază până la 0,7 R, iar pe fața de suclune, suprafața de al baza palei până la 0,7 R.

Zona C este suprafața plasată dincolo de 0,7 R, pe ambele fețe ale palei, precum și suprafața exterioară și interioară a butucului.

3.4.3.2. Control vizual

Controlul vizual se face pe toată suprafața piesei.

3.4.3.3. Control nedistructiv

3.4.3.3.1. Control cu lichide penetrante

La reperele noi zona A se va verifica în întregime cu lichide penetrante. În cazul unei remedieri, indiferent de zona în care se execută, se va face controlul cu lichide penetrante atât după înlăturarea defectului cât și după executarea remedierii.

3.4.3.3.2. Control ultrasonic

Dacă se presupune existența unor defecte interne se poate face ultrasonic, ținând cont că acesta nu este posibil la aliajele de categoria 1 și 2.

3.4.3.3.3. Control radiografic

Depistarea defectelor interne se poate face prin control radiografic. În funcție de grosimea piesei se vor folosi surse de radiații adecvate.

3.4.4. Remedierea defectelor

Defectele care pot fi remediate sunt cele superficiale, puse în evidență la controlul vizual și la controlul de lichide penetrante. Mărimea unui defect reprezintă dimensiunile locului pregătit pentru remedierea prin sudare după înlăturarea completă a defectului.

Defectele apropiate în așa măsură încât determină interacțiunea sudurilor se consideră și se remediază ca un defect singular continuu. Mărimea defectelor acceptate pentru a fi remediate depinde de zona în care sunt plasate.

3.4.4.1. Remedierea în zona A

Remedierea defectelor prin sudare nu este permisă. Defectele cu adâncimi mai mici de 2 mm sau $t/50$ mm (t - grosimea minimă locală conform Regulilor R.N.R.) pot fi îndepărtate numai prin polizare. Defectele izolate foarte mici, cum ar fi porii cu diametre sub 1 mm, se lasă neîndepărtate.

3.4.4.2. Remedierea în zona B

Defectele cu adâncimi mai mici de 2 mm sau $t/40$ mm se pot îndepărta numai prin polizare. Defectele care depășesc această adâncime se pot remedia prin sudare, dacă adâncimea lor nu depășesc $t/3$ mm. În cazul în care și această adâncime este depășită, reparația se poate face numai cu acordul R.N.R., după analizarea situației respective.

3.4.4.3. Remedierea în zona C

Remedierea prin sudare este în general permisă. Remedierile făcute pe suprafața butucului și mai ales în porțiunile pale se execută cu multă atenție pentru evitarea tensiunilor termice care dau naștere la fisuri.

3.4.4.4. Suprafața defectelor admise pentru remediere

În zonele B și C se admite remedierea prin sudare a defectelor cu suprafața individuală de cel mult 60 mm^2 sau 0,6 %S (S- suprafața unei fețe a palei), cu condiția ca suprafața totală a reparațiilor în cele două zone luate împreună să nu depășească 200 cm^2 sau 2% S și avându-se în vedere că în zona B de pe fața de presiune, această suprafață totală să nu fie mai mare de 100 cm^2 sau 0,8 %S.

3.4.5. Remedierea prin sudare

Procedeele de sudare acceptate sunt cele care produc o topire rapidă și localizată (MIG, WIG, sudare electrică manuală cu electrozi înveliți).

Pentru asigurarea celor mai bune condiții de sudare piesa trebuie să fie așezată în poziție orizontală.

Remedierea defectelor prin sudare se execută de sudori autorizați de R.N.R., după o tehnologie avizată de R.N.R. După remedierea prin sudare piesele se supun unui tratament termic de detensionare avizat de R.N.R. Timpul de încălzire trebuie să asigure o temperatură uniformă și o pătrundere completă a piesei și se adoptă în funcție de categoria aliajului, de temperatura de tratament termic și de dimensiunile piesei. Răcirea trebuie să se facă cu viteză mică (max. 50 °C/oră).

3.5. REALIZAREA UNUI ELECTROD SPECIAL PENTRU ÎNCĂRCAREA ELICELOR NAVALE DIN CuNiAl

3.5.1. Prezentarea electrodului

Având în vedere compoziția chimică a elicelor navale din CuNiAl se propune utilizarea unui electrod multimetale cu aliere în baia de metal topit a procesului de sudare. Elementele chimice necesare materialului depus prin sudare se obțin din materialele de adaos de tipul sârmelor electrod, țevelor electrod și din învelișul electrodului.

În figura 3.5.1. se prezintă un electrod special format din 3 sârme electrod rectilinii S_1, S_2 și S_3 , dintr-o sârmă electrod în spirală S_4 și un electrod tubular sub formă de țeavă care îmbracă sârmele electrod S_1, S_2 și S_3 .

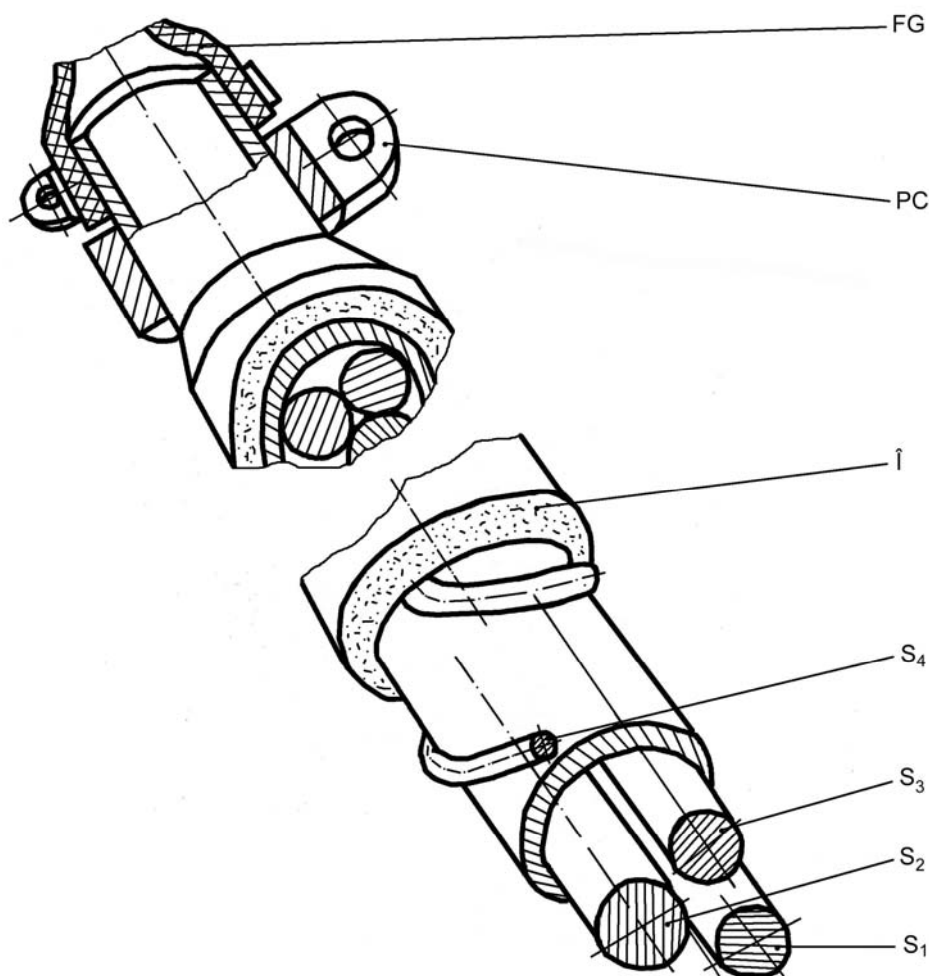


Fig. 3.5.1. Structura electrodului special.

Acest electrod poate fi folosit la încărcarea prin procedeul WIG. Dacă electrodul are și înveliș, ca în figură, atunci el poate fi folosit la încărcarea prin procedeul SE. Acest electrod multimetale poate fi alimentat cu argon prin capătul cleștelui asigurând trimiterea în baia de sudură a gazului inert.

Procedeul de încărcare (de sudare) cu un astfel de electrod a fost denumit de autorii prezentului raport tehnic - procedeul MMIG (multimetale interior gaz - multy metal internal gas). Structura acestui electrod este o noutate în domeniul încărcării prin sudare cu arc electric.

Electrodul poate funcționa în următoarele variante tehnologice:

- sub formă de vergea (neînvelită și nealimentată cu gaz (argon) la sudarea manuală WIG;
- sub formă de electrod învelit (nealimentat cu gaz) pentru sudarea manuală cu arc electric SE;
- sub formă de electrod neînvelit și alimentat interior cu gaz (argon) la sudarea manuală cu arc electric (o combinație dintre SE și MIG);
- sub formă de electrod învelit și alimentat cu gaz (argonul) la sudarea manuală cu arc electric.

3.5.2. Avantajele electrodului

Electrodul multimetale și alimentat interior cu gaz, în variantele de mai sus, are următoarele avantaje:

- ❖ asigurarea compoziției dorite a metalului depus;
- ❖ protecția mai bună a băii de sudură prin gazul suplimentar introdus în arc;
- ❖ stabilitatea mai bună a arcului electric;
- ❖ curățirea băii de metal depus prin înlăturarea oxizilor superficiali datorită mișcării radiale a jetului de argon în raport cu centrul băii;
- ❖ reglarea compoziției materialului depus la orice valoare poate fi făcută prin dispunerea unei sârme electrod în spirală pe țeava electrodului, pasul spiralei stabilind compoziția chimică;
- ❖ învelișul electrodului poate conține pulbere metalică care participă la alierea băii.

3.5.3. Originalitatea construcției electrodului

Electrodul special combină o serie de avantaje ale procedeelor SE, WIG și MIG. Având în vedere că structura arcului electric la sudarea în mediu protector de argon și de CO₂ este mult diferită, putem combina avantajele celor două arce pentru obținerea unor performanțe sporite în procesul de depunere.

Arcul de argon are diametrul mai mare asigurând o protecție mai bună băii de metal topit. Aceasta se datorește conductibilității termice mai scăzute a argonului față de CO₂. CO₂ provine din învelișul electrodului prin arderea acestuia și formează un arc subțire toroidal în jurul arcului de argon.

Arcul de CO₂ este mai cald și topește suplimentar baia de metal mărindu-i lățimea acesteia. Este de presupus că oxigenul atomic provenit din descompunerea CO₂ părăsește arcul electric sub presiunea argonului introdus în centrul arcului prin sârma electrod. Se asigură astfel o reducere a arderilor elementelor de aliere.

Se remarcă și efectul de microsablare al băii de metal topit sub acțiunea ionilor pozitivi grei ai argonului.

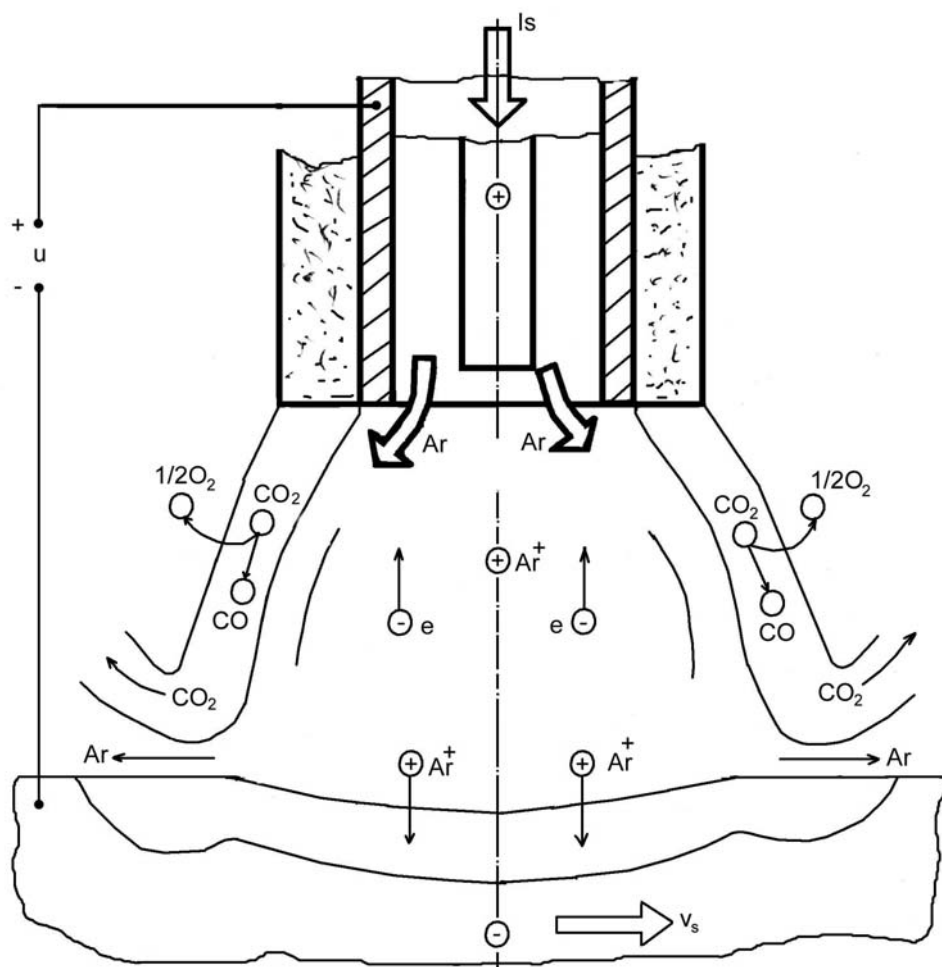


Fig. 3.5.2. Arcul electric mixt la sudarea MMIG.

În concluzie se sudează cu electrod învelit cu protecție de gaz inert cu dezoxidare prin arc și microsablare prin argon.

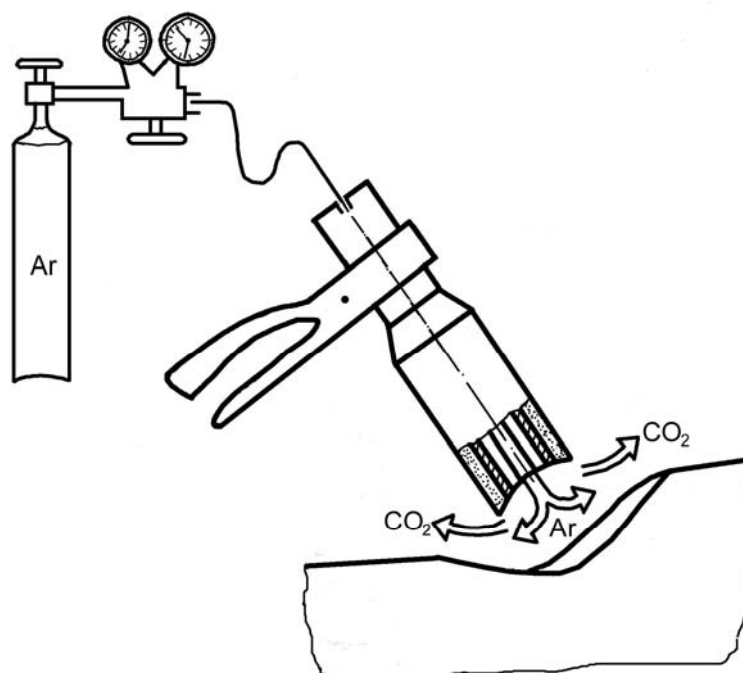


Fig. 3.5.3. Sudarea SE cu electrod multimetale și insuflare interioară de gaz.

Electrodul poate fi folosit în varianta sudării SE cu insuflare prin interiorul acestuia a unui gaz inert sau activ. Gazul activ mărește zona de protecție a băii și crește ionizarea spațiului arcului. Gazul inert (argonul) insuflat prin electrod asigură protecția băii și reducerea pierderilor la transferul de metal prin arc electric.

Putem considera că argonul administrat prin interiorul electrodului se combină cu CO_2 -ul formând amestecul Corgon autogenerat.

Sistemul MMIG poate fi aplicat și la sudarea MIG. Vergeaua de material de adaos este o combinație de mai multe materiale care prin topire dă băii compoziția chimică necesară stratului sudat sau încărcat. La sudarea MIG argonul injectat în arc nu protejează suficient vârful vergelei ce se topește. Administrând argon suplimentar prin vergeaua - material de adaos, crește volumul pernei de argon și vârful vergelei rămâne sub protecție gazoasă.

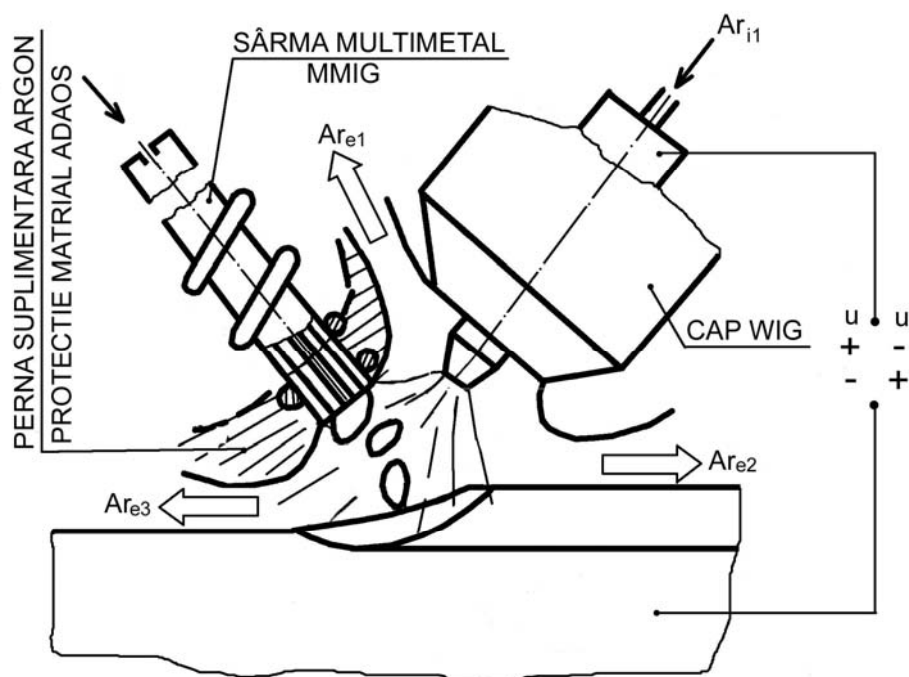


Fig. 3.5.4. Sudarea SE cu electrod multimetral și insuflare interioară de gaz.

Argonul pătrunde prin sârma - material de daos (Ar_{i2}) și prin capul WIG (Ar_{i1}) și părăsește arcul prin spațiul material de adaos - cap WIG (Ar_{e1}) prin spațiul dintre capul WIG și materialul de bază (Ar_{e2}) și prin spațiul dintre material de adaos și material de bază (Ar_{e3}).

Argonul introdus prin materialul de adaos mărește presiunea arcului făcând posibilă creșterea numărului de purtători de sarcină electrică, contribuind la stabilitatea arcului.

3.5.4. Realizarea în condiții de laborator a electrozilor speciali pentru procedeul MMIG

În laboratoarele catedrei de Robotică și Sudare a Universității "Dunărea de Jos" din Galați au fost realizați electrozi pentru sudarea aliajelor CuNiAl în varianta vergea - material de adaos pentru procedeul WIG și SE și electrozi înveliți pentru procedeul SE.

Ambele variante pot funcționa în regim cu sau fără alimentare interioară cu gaz.

În figura de mai jos sunt prezentate sârmele pline și sârma tubulară folosite la realizarea vergelelor și electrozilor.



Fig. 3.5.5. Sârmele pline și sârma tubulară folosite la realizarea vergelelor și electrozilor.

În figura 3.5.6. se prezintă electrodul învelit care conține 4 sârme electrod și o sârmă tubulară, cuprinse într-un înveliș bazic.



Fig. 3.5.6. Electrozi înveliți multimetale.

În figura 3.5.7. se prezintă dispozitivul experimental pentru depunerea pastei pe electrodul învelit.



Fig. 3.5.7. Dispozitiv pentru depunerea pastei pe electrodul învelit.

3.5.5. Proiectarea electrodului pentru o anumită compoziție chimică a materialului depus

Pentru stabilirea geometriilor materialelor folosite la fabricarea electrozilor înveliți se consideră că sunt folosite 4 sârme electrod, din care 3 sârme rectilinii, S_1 , S_2 , S_3 și o sârmă spirală S_4 . Cele 3 sârme rectilinii sunt introduse într-un electrod tubular (Fig. 3.5.8).

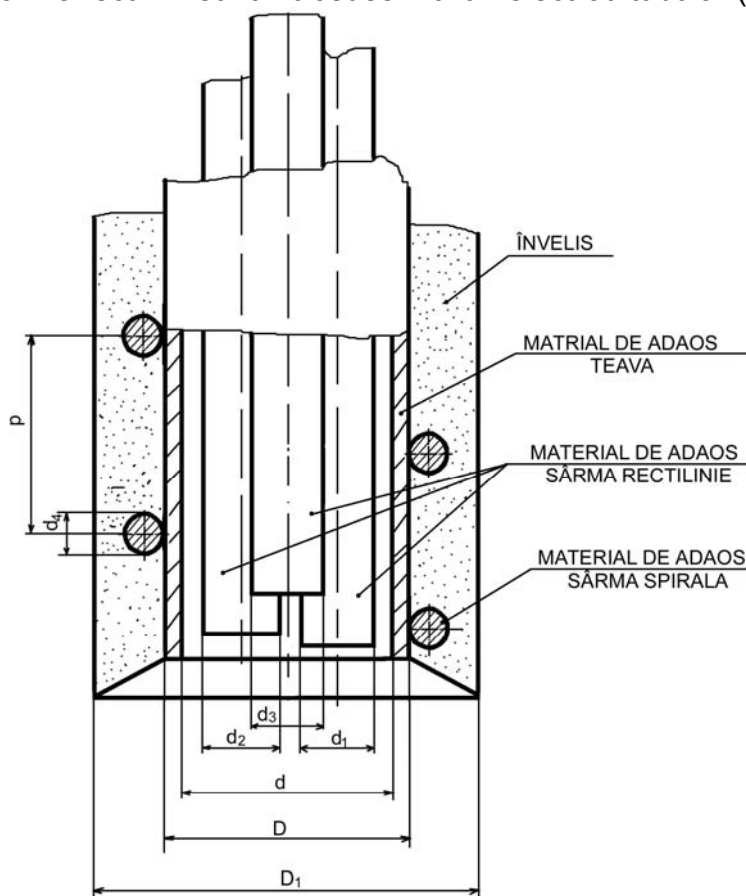


Fig. 3.5.8. Geometria electrodului MMIG.

Se consideră compoziția chimică a materialului depus de forma:

$$[\%]_1; [\%]_2; [\%]_3; [\%]_4$$

Aceste procente de participare gravifică a elementelor chimice din metalul depus, provenite din metalul de adaos, neglijând randamentul transferului masic, sunt date de expresiile:

$$[\%]_1 = \frac{\rho_1 \pi d_1^2}{4m}$$

$$[\%]_2 = \frac{\rho_2 \pi d_2^2}{4m}$$

$$[\%]_3 = \frac{\rho_3 \pi d_3^2}{4m}$$

$$[\%]_4 = \rho_4 \cdot \frac{\sqrt{p^2 + (\pi \cdot D)^2}}{\pi m} \cdot \frac{\pi d_4^2}{4}$$

$$[\%]_5 = \rho_5 \cdot \frac{\pi(D_1^2 - D^2)}{4m} \cdot C_P$$

în care: $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ sunt densitățile materialelor (sârmă, țevă, pulbere înveliș) folosite la obținerea metalului depus;

d_1, d_2, d_3, d_4 - diametrele sârmelor din structura electrodului MMIG, s_1, s_2, s_3, s_4 ;

p - pasul spiralei sârmei S_4 ;

D_1 - diametrul exterior al învelișului;

D - diametrul exterior al țevii;

C_P - coeficientul de participare a pulberii metalice în învelișul electrodului;

m - masa pe unitatea din lungimea electrodului a materialelor de adaos.

Masa m se calculează cu relația:

$$m = \rho_1 \frac{\pi d_1^2}{4} + \rho_2 \frac{\pi d_2^2}{4} + \rho_3 \frac{\pi d_3^2}{4} + \rho_4 \frac{\sqrt{p^2 + (\pi \cdot D)^2}}{p} \cdot \frac{\pi d_4^2}{4} + \rho_5 \frac{\pi(D_1^2 - D^2)}{4} \cdot C_P$$

Exemplul de mai jos prezintă modul de realizare a electrodului special pentru sudarea bronzului CuNiAl.

Compoziția chimică de bază	Cu	Ni	Al	Fe
Procent de aliere [%]	80	5	10	5
Densitate [kg / dm^3]	8,9	8,9	2,7	7,8

Geometria materialelor de adaos folosite:

Material de adaos [mm]	d_1	d_2	d_3	d_4	p	d	D
S_1 - Aluminiiu	2,4	-	-	-	-	-	-
S_2 - Aluminiiu	-	1,2	-	-	-	-	-
S_3 - Fier (oțel cu 0,06 %C)	-	-	1,2	-	-	-	-
S_4 - nichelină (60 %Cu + 40 %Ni) ($\frac{3}{5}Cu + \frac{2}{5}Ni$)	-	-	-	0,5	2	-	-

		Cercetări fundamentale și aplicative privind realizarea bronzurilor CuNiAl destinate recondiționării elicelor navale – ELNAV - CEEX 322 / 2006						
Țeavă - Cupru	-	-	-	-	-	-	5	6,4

Se consideră că nu există pulberi de aliere în învelișul electrodului. Atunci masa de electrod pe unitatea din lungimea acestuia va fi:

$$m = m_{Cu} + m_{Ni} + m_{Al} + m_{Fe}$$

$$m = 10^{-6} \cdot \left[8,9 \cdot \frac{\pi(6,4^2 - 5^2)}{4} + 8,9 \frac{\sqrt{2^2 + (7\pi)^2}}{2} \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} \cdot \frac{2}{5} + 2,7 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 2,4^2}{4} + \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \right) \right] + \left[7,8 \cdot \frac{\pi \cdot 1,2^2}{4} \right] = 143 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$$

Procentul elementelor chimice provenite din electrodul special în raport cu compoziția materialului de bază CuNiAl este

	Cu	Ni	Al	Fe
% în MB - CuNiAl	80	5	10	5
% în electrodul MMIG	78	5,15	10,65	6,16

3.6. CARACTERIZAREA MATERIALULUI DE BAZĂ

Au fost determinate caracteristicile mecanice ale materialului de bază provenit din șarja A-1123. S-au folosit epruvete standard pentru încercările mecanice la tracțiune și reziliențe CV la + 20 °.

În figura de mai jos sunt prezentate epruvetele de încercare la tracțiune și reziliențe înainte și după realizarea încercărilor.



Fig. 3.6.1. Epruvete de încercare la tracțiune și reziliențe înainte de realizarea încercărilor.



Fig. 3.6.2. Epruvete de încercare la tracțiune și reziliențe după realizarea încercărilor.

Rezultatele încercărilor mecanice de laborator pentru șarja A-1123 comparativ cu aceleași încercări impuse de Germanischer Lloyd sunt date în tabelul 3.6.1.

Tabelul 3.6.1. Rezultatele încercărilor mecanice de laborator pentru șarja A-1123 comparativ cu aceleași încercări impuse de Germanischer Lloyd

Material	Caracteristici mecanice		
	$R_{p0,2}$, N/mm ² , min	R_m , N/mm ² , min	A_5 , %, min
CU3	245	590	16
Șarja A-1123	254	590	14

Se observă că materialul de bază luat în studiu prin șarja A-1123 are caracteristici mecanice foarte apropiate de Germanischer Lloyd Register. Rezistența de rupere la tracțiune este identică cu cea recomandată, limita de curgere este cu 3,67 % mai mare decât cea recomandată, iar alungirea este cu 2,5 % mai mică decât cea recomandată. S-a determinat totodată și duritatea materialului de bază rezultând 197 HB

3.7. CONCLUZII

1. Prezenta etapă de realizare a proiectului pune bazele teoretice și experimentale ale sudării și încărcării materialelor neferoase și în special a bronzurilor folosite la confecționarea elicelor navale.

Lucrarea dezvoltă cu caracter original, o serie de procedee de sudare cu eficiență tehnică și economică relevantă. A fost structurat un nou procedeu bazat pe modificări esențiale ale procedeelelor SE și WIG.

Vergeaua-material de adaos și electrodul învelit în varianta constructivă prezentată, conduce la dezvoltarea unui nou proces de sudare având la bază folosirea mai multor materiale metalice de tip sârmă plină rectilinie și spirală și țeavă electrod care în combinație gravimetrică realizează compoziția chimică dorită pentru materialul depus.

Este o noutate și administrarea unui gaz de protecție prin interiorul electrodului tubular care să asigure presurizarea suplimentară a arcului electric, creșterea numărului purtătorilor de sarcină și asigurarea stabilității procesului. Se dezvoltă astfel o baie cu

lățimea mai mare specifică operațiilor de încărcare prin sudare, cu pătrundere mai redusă și cu protecție mai bună.

Au fost fructificate mai eficient avantajele sudării WIG și SE astfel insuflarea internă de argon dă posibilitatea microsablării băii de metal topit. Plasarea pernei toroidale de CO₂ în jurul arcului de argon conduce la creșterea temperaturii arcului, lățirea cordonului și expulzarea oxigenului atomic înafara arcului. Se reduc în acest fel tendințele de oxidare a elementelor de aliere prin expulzarea oxigenului atomic din arc.

2. A fost realizat un material de bază din aliajul CuNiAl prin turnare cu compoziție chimică și proprietăți mecanice aproape identice cu cele recomandate de Germanischer Lloyd Register.

3. Au fost realizați electrozi înveliți multimetale a căror geometrie a fost stabilită pe cale teoretică. Vergelele multimetale folosite la sudarea WIG asigură un material de adaos cu compoziția chimică dorită. Sudarea WIG poate beneficia și de aportul de argon transmis procesului prin țeava ce găzduiește sârmele de sudare. Este deosebit de utilă sub aspectul calității materialului depus folosirea de electrozi cu insuflare interioară de gaz. Dacă gazul este activ, crește temperatura băii, care nu mărește important pătrunderea dar mărește lățimea cordonului, aspect favorabil operațiilor de încărcare. Electrocul învelit poate beneficia și de introducerea de pulberi metalice în învelișul acestuia pentru reglarea mai precisă a compoziției chimice a materialului depus.

4. Prin această lucrare s-au pus bazele noii tehnologii de sudare MMIG (multimetale interior gaz). Urmează ca prin cercetările din etapele următoare să se caracterizeze materialul depus și zona influențată termic folosind procedeele de sudare MMIG.

BIBLIOGRAFIE

1. Aichele, G., *116 Reguli de sudare în mediu de gaz protector*, Editura Sudura, Timișoara, ISBN 973 - 98968 - 5 - 5, 1999.
2. Anghel, N., Matragoci, C., Grigoraș, A., Popovici, V. *Sudarea în mediu de gaze protectoare*, Editura Tehnică, București, 1982.
3. Benea, F., *Fenomene de transfer în arcul electric de sudare*, Colecția ARES, OID - ICM, 1985.
4. Burcă, M., Negoțescu, S., *Sudarea MIG - MAG*, Editura Sudura, Timișoara, ISBN 973 - 8359 - 07 - 4, 2002.
5. Centea, O., *Echipamente pentru sudare*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1997.
6. Constantin, E., *Tehnologia sudării prin topire, Partea I - Bazele tehnologice ale sudării prin topire*, Universitatea din Galați, 1993.
7. Constantin, E., *Tehnologia sudării prin topire, Partea II - Tehnologia procedeelor de sudare*, Universitatea din Galați, 1994.
8. Dehelean, D., *Sudarea prin topire*, Editura Sudura, Timișoara, 1997.
9. Georgescu, V., Georgescu, B., Iordăchescu, M., *Control nedistructiv*. Tom V, Vol. 2, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 973 - 96308 - 4 - 7, ISBN 973 - 9428 - 75 - 4, 2001.
10. Georgescu, V., *Metode moderne pentru stabilirea structurilor metalice - Curs și test pentru verificarea cunoștințelor*, Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, 2005.
11. Ghitlevici, A. D., Etingof, L. A., *Mecanizarea și automatizarea producției sudate*, Editura Tehnică, București, 1974.

12. Gliță, Gh., Machedon-Pisu, T., Miloș, L., *Proiectarea dispozitivelor pentru sudare*, Tom V, Vol. 2, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 973 - 99249 - 39 - 5, 1997.
13. Iacobescu, G., Solomon, Gh., Micloși, V., Marina, Gh., *Echipamente pentru sudare*, Vol. 1, Editura Printech, București, 1999.
14. Lucaciu, I., Gliță, Ghe., *Echipamente MIG - MAG pentru sudare în curent pulsant. Soluții noi, perspective*, Conferința Internațională A.S.R., SUDURA - 2002, Ploiești, 25 - 27 septembrie 2002, ISSN 973 - 8359 - 06 - 6, pag. 120 - 128.
15. Machedon-Pisu, T., Andreescu, F. G., *Materiale metalice pentru produse sudate*, Tom II, Vol. 1, Editura Lux Libris, Brașov, 1996.
16. Mihăilescu, D., *Procedee conexe sudării - Lucrări practice*, Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, 1997.
17. Mitelea, I., Budău, V., *Materiale și tratamente termice pentru structuri sudate*, Editura de Vest, Timișoara, 1992.
18. Moldovan, M., *Sudarea MAG cu arc sinergic și impulsuri a construcțiilor sudate din profile laminate*, Conferința Internațională A.S.R., Sudarea în România în pragul aderării la Uniunea Europeană, Galați, 28 - 30 septembrie 2005, ISBN (10) 973 - 8359 - 33 - 3, pag. 257 - 264.
19. Molnar, R., *Greșeli frecvente la sudarea MAG și implicațiile lor în costurile de fabricație*, Conferința Internațională A.S.R., Managementul calității în domeniul sudării, în contextul aderării României la Uniunea Europeană, Brașov, 20 - 22 septembrie 2006, ISBN (10) 973 - 8359 - 44 - 9, ISBN (13) 978 - 973 - 8359 - 44 - 9, pag. 83 - 89.
20. Morariu, Șt., *Transformări în îmbinările sudate ale oțelurilor*, Editura Facla, Timișoara, 1984.
21. Pomaska, H.U., *MAG Welding-Not a Sealed Book*, Linde Industrial Gases, Germany, 1991.
22. Popovici, V.I., Gliță, Ghe., *Utilajele sudării electrice*, Editura Litografia I.P.T., Timișoara, 1981.
23. Popovici, V., Șontea, S., Popa, N., Șarlău, C., Miloș, L., Nanu, S., *Ghidul lucrărilor de sudare, tăiere, lipire*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1984.
24. Safta, V.I., *Controlul îmbinărilor și produselor sudate*, Vol. I, Editura Facla, Timișoara, 1984.
25. Safta, V.I., *Controlul îmbinărilor și produselor sudate*, Vol. II, Editura Facla, Timișoara, 1986.
26. Safta, V.I., Safta, V.I. Jr., *Defectoscopie nedistructivă industrială*, Editura Sudura, Timișoara, 2001.
27. Safta, V.I., Safta, V.I. Jr., *Încercările tehnologice și de rezistență ale îmbinărilor sudate sau lipite*, Editura Sudura, Timișoara, 2006.
28. Sălăgean, T., *Sudarea cu arcul electric*, Editura Facla, Timișoara, 1977.
29. Sălăgean, T., *Tehnologia procedeelor de sudare cu arc*, Editura Tehnică, București, 1985.
30. Sălăgean, T., Mălai, D., Vodă, M., *Optimizarea sudării cu arcul electric*, Editura Tehnică, București, 1988.
31. Trif, N. I., *Automatizarea proceselor de sudare*, Tom V, Vol. 2, Enciclopedie de Sudură, Editura Lux Libris, Brașov, ISBN 973 - 9240 - 07 - 0, 1996.
32. Zgură, G., Răileanu, D., Scorobețiu, L., *Tehnologia sudării prin topire*, Editura Didactică și Pedagogică, București, 1983.
33. *** *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. I - Sudarea prin topire cu arc electric, Standarde generale, Condiții de calitate,

Prescripții de execuție, Echipamente de sudare, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2001.

34. *** *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. II - Calificarea personalului și a procedurilor de sudare, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2001.

35. *** *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III - Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002.

36. *** *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. IV - Materiale pentru sudare, lipire și pulverizare termică, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002.

37. *** STAS ISO 4063 - 2000: *Sudare și procedee conexe. Nomenclatorul procedeelor și numere de referință*.

38. *** *Gaze de protecție la sudare. Dezvoltare - consultanță - utilizare*, Linde Gaz România S.R.L. Timișoara.

39. *** *Catalog de produse* S.C. Ductil S.A. Buzău.

40. *** *Catalog mărci de oțeluri produse de Ispat Sidex S.A. Galați*.

41. *** *Instrucțiuni tehnologice pentru inspectarea navelor maritime în exploatare*, Vol. II, Partea "C5", Inspectia arborilor port-elice și elicilor, Registrul Naval Român, 1986.

42. *** R.N.R. 24 - 86 (2.06), *Inspectarea și repararea elicelor*, București, 1986.

43. *** SR EN ISO 13916/1998 - *Ghid pentru măsurarea temperaturii de preîncălzire, a temperaturii între treceri și a temperaturii de menținere a preîncălzire*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. I - Sudarea prin topire cu arc electric, Standarde generale, Condiții de calitate, Prescripții de execuție, Echipamente de sudare, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2001, ISSN: 973 - 8359 - 01 - 5, pag. 447 - 454.

44. *** SR EN 970/1999 - *Examinări nedistructive ale îmbinărilor sudate prin topire. Examinare vizuală*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 95 - 111.

45. *** SR EN 444/1999 - *Examinări nedistructive. Principii generale pentru examinarea radiografică cu radiații X și gama a materialelor metalice*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 147 - 160.

46. *** SR EN 10002-1/1995 - *Materiale metalice. Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metodă de încercare (la temperatura ambiantă)*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 321 - 348.

47. *** SR EN 895/1997 - *Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea la tracțiune transversală*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 349 - 360.

48. *** SR ISO 7438/1993 - *Materiale metalice. Încercarea la îndoire*, *Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe*, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 370 - 375.

49. *** *SR EN 910/1997 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea la îndoire*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 381 - 402.

50. *** *SR EN 10045 - 1/1993 - Materiale metalice. Încercarea la încovoiere prin șoc pe epruvete Charpy. Partea 1: Metodă de încercare*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 405 - 416.

51. *** *SR EN 875/1997 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea la încovoiere prin șoc. Poziția epruvetei, orientarea creștăturii și examinare*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 417 - 426.

52. *** *SR EN 1043-1/1997 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea de duritate. Partea 1: Încercarea de duritate a îmbinărilor sudate cu arc electric*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 427 - 446.

53. *** *SR EN 1320/2000 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea de rupere*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 476 - 491.

54. *** *SR EN 1321/2000 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Examinarea macroscopică și microscopică a îmbinărilor sudate*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 498 - 510.

55. *** *SR CR 12361 + AC/1999 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice – Reactivi pentru examinarea macroscopică și microscopică*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 511 - 546.

56. *** *SR EN 876/1997 - Încercări distructive ale îmbinărilor sudate din materiale metalice - Încercarea la tracțiune longitudinală a metalului depus din îmbinările sudate prin topire*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. III, Încercări nedistructive ale îmbinărilor sudate și lipite, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 03 - 1, pag. 361 - 369.

57. *** *SR EN 1597 - 1/2000 - Materiale pentru sudare. Metode de încercare, Partea 1: Probă pentru epruvete de metal depus, din oțel, nichel și aliaje de nichel*, Colecția de standarde comentate în domeniul sudării și tehnicilor conexe, Vol. IV, Materiale pentru sudare, lipire și pulverizare termică, A.S.R.O. - A.S.R., Editura Sudura, Timișoara, 2002, ISSN: 973 - 8359 - 04 - X, pag. 308 - 318.

58. *** *Prospect sursă de sudare Esab Aristo LUD 320*, ESAB A.B, Suedia.

59. *** *Certificat de calitate aliaj CuAl9Fe5Ni5 nr. 1229 din 06.09.2007*, eliberat de S.C. ORION S.R.L. Cornu, jud. Prahova.

4. Testarea în condiții de laborator a unor variante noi de electrozi înveliți și depunerilor realizate

4. 1. Controlul caracteristicilor electrozilor

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 sârma, și din sârma provenită din aceeași șarjă, mărimea unui lot nu va depăși cantitățile indicate în tabelul 1,

Tabelul 1

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.

Controlul calității constă din:

- controlul dimensiunilor și aspectului,
- controlul coaxialității învelișului,
- controlul aderenței învelișului,
- controlul comportării la sudare,
- controlul caracteristicilor mecanice ale metalului depus,
- controlul compoziției chimice a metalului depus,
- controlul conținutului de hidrogen difuzibil din metalul depus (numai pentru electrozii la care s-a prevăzut conținutul de hidrogen),
- controlul sensibilității la fisurare la cald,
- controlul caracteristicilor de depunere ale electrozilor,
- controlul pătrunderii la sudare,
- controlul defectelor.

Controlul 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 2.

Tabelul 2

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. Controlul comportării la sudare se execută pe o probă sudată cu electrozi din fiecare lot de fabricație.

OBSERVAȚIE. - La cererea beneficiarului, controlul 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.

Controlul 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, controlul se execută pe câte o probă sudată cu electrozi din fiecare lot de fabricație.

Controlul 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.

4.2. Controlul dimensiunilor

Controlul dimensiunilor se executa fără distrugerea electrozilor, cu aparate obișnuite de măsurat.

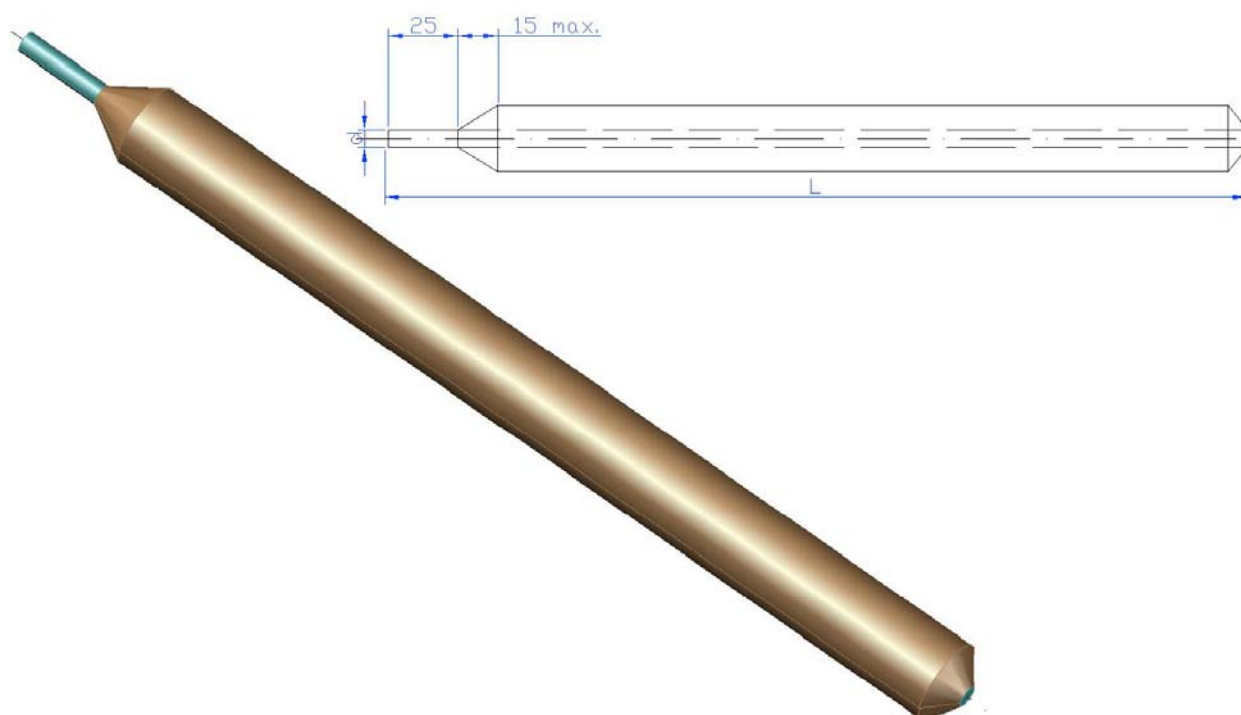


Fig 1

Dimensiunile și abaterile limită ale electrozilor trebuie să corespundă fig.1 și tabelului 3.

Tabelul 3

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 pot 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.

4.3. Controlul aspectului

Controlul aspectului se execută cu ochiul liber.

Electrozii se livrează în mod obișnuit cu capătul de prindere curățat de înveliș, conform fig.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. Electrozii vor fi teșiți conic la capătul de amorsare, conform fig. 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 încercare. Se admite lipsa de înveliș la capătul de amorsare pe o lungime de max. 3 mm, pe cel mult jumătate din circumferința electrodului.

4.4. Controlul coaxialității

Controlul coaxialității se execută pe electrozi din eşantion, prin îndepărtarea învelișului conform fig. 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:

$$AP_c = (B - B_1) \cdot 100 / 2d \text{ [%]}$$

Controlul coaxialității se poate efectua și cu metode nedistructive, cu condiția ca acestea să asigure precizia de măsurare de 0,01 mm.

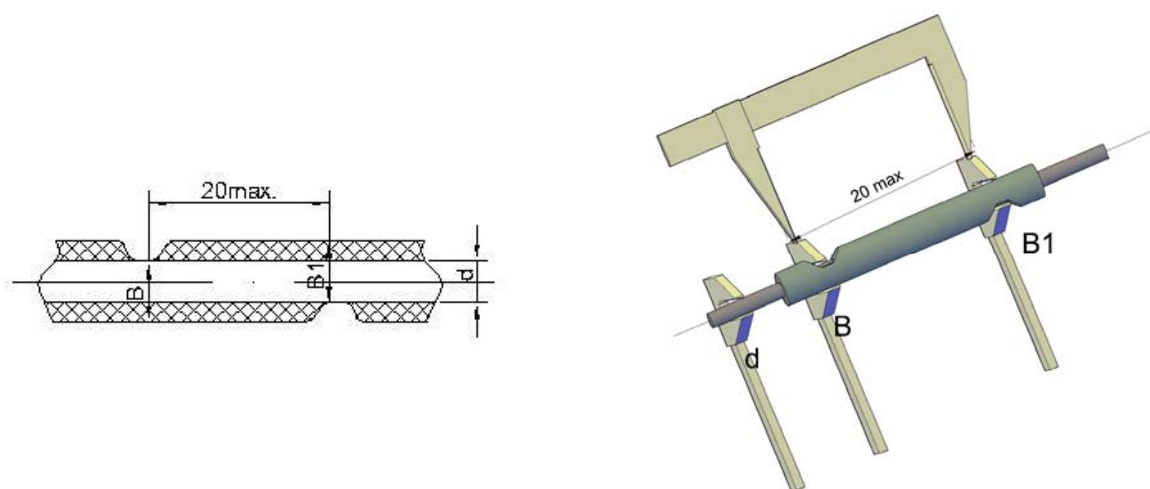


Fig. 2

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.

4.5. Controlul aderenței învelișului

Controlul 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.

4.6. Controlul comportării la sudare

Controlul 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.

4.6. Controlul caracteristicilor mecanice

Controlul caracteristicilor mecanice ale metalului depus prin sudare:

În cazul electrozilor cu diametru $>3,15$ mm, controlul 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, controlul caracteristicilor mecanice se execută numai pentru electrozii din grupa I, pe o îmbinare sudată din care se prelevează 2 epruvete pentru încercarea la tracțiune.

7. Pregătirea probelor

7.1.1. 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.3 și fig.4.

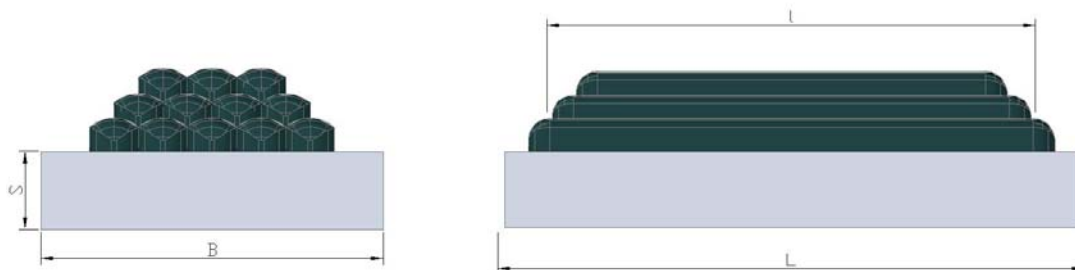


Fig. 3

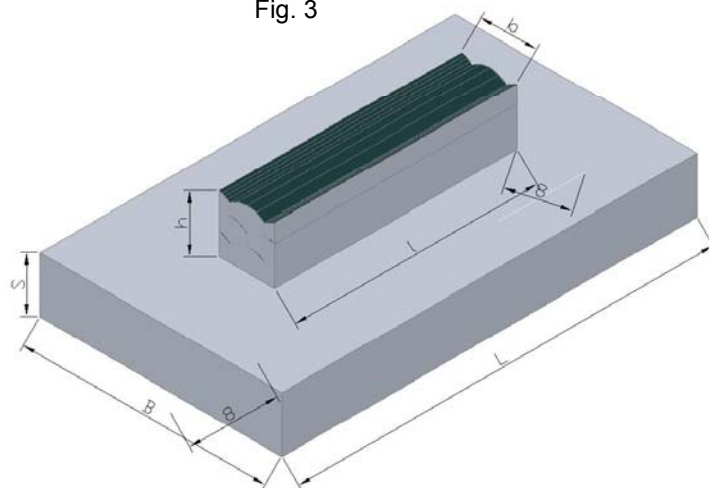


Fig. 4

Dimensiunile plăcii de bază și ale depunerii trebuie să fie conform tabelului 4.

Tabelul 4

Dimensiuni în mm

Diametrul Electrodului	Dimensiunile plăcii	Dimensiunile metalului, depus
---------------------------	---------------------	-------------------------------

	Grosimea S	Lățimea B	Lungimea L	Înălțimea h	Lățimea b	Lungimea l
2,5 3,15...4 5...6	10-14 14-16 20-22	55-70 60-80	55-70 120-160	10-14 14-18 15-20	10-14 14-20 18-25	110-150

După prelucrare, suprafața superioară a metalului depus trebuie să fie plană și netedă. În timpul prelucrării, se vor evita ecruisări și încălziri la o temperatură care ar provoca modificări în structura materialului,
Pentru executarea încercării de duritate, suprafața prelucrată se șlefuește.

7.1.2. 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 și tabelului 5. Lungime L, conform pct. 7.1.1.

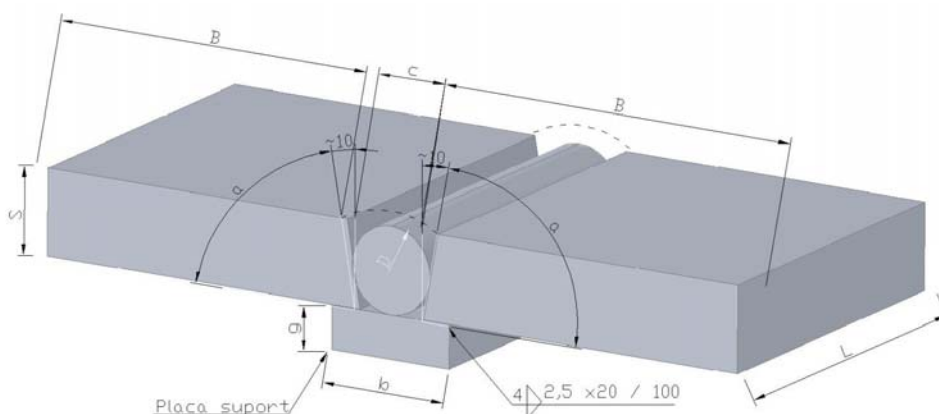


Fig.5

Tabelul 5

Dimensiuni în mm

Diametrul electrodului	B	s	α grade	D	b	g	e
2,5	40±5	8	80° ₋₅	8	20 + 2 0	3	6+1 0
3,15...4	80 ± 10	20	80° ₋₅	20	30 + 2 0	10	16 + 1 0
5...6	120 ± 10	20	80° ₋₅		30 + 2 0	10	16+ 1 0

7.1.3. 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. 6.

Lățimea plăcilor B este aceeași ca a probei 2 (tabelul 5), iar lungimea L, conform pct. 7.1.6.

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 prelucrează prin așchiere la forma plană, respectând grosimea finală a depunerii, conform tabelului 6.

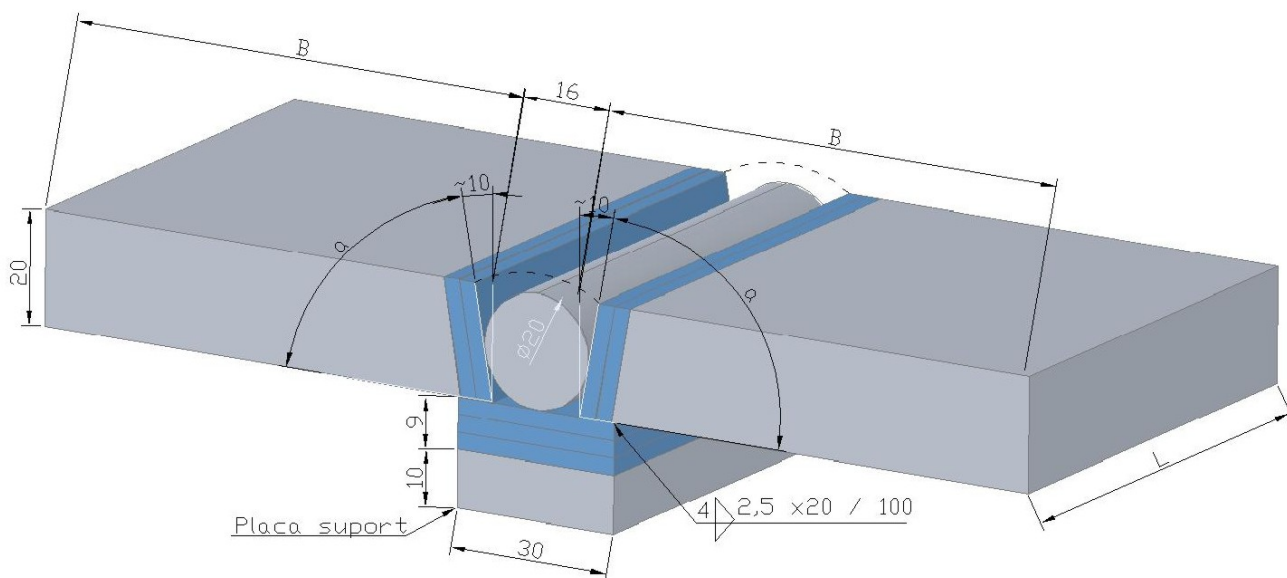


Fig.6

Tabelul 6
Grosimea depunerii,
g mm

min. 3
min. 5

7.1.4. 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. 8

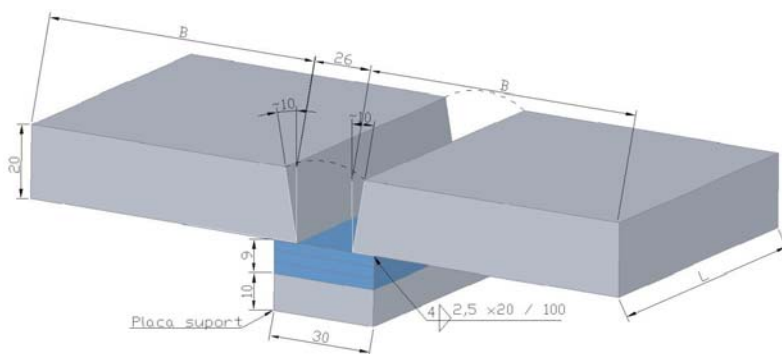


Fig.8

Placa suport se încarcă, conform pct. 7.1.3

Lățimea plăcilor B și lungimea L conform pct. 7.1.6

7.1.5. 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.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. 9.

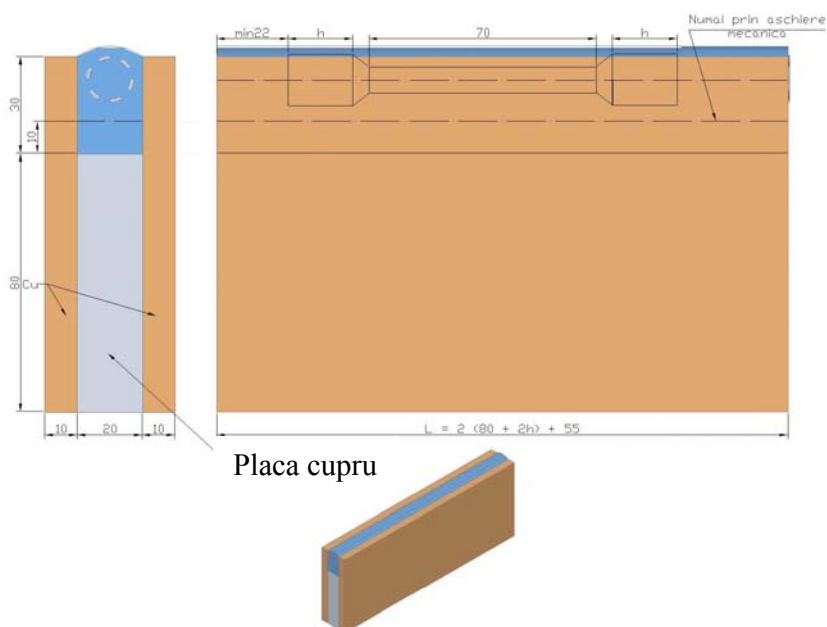


Fig. 9

7.1.6. 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:
 $L = 250 + 2h \quad [\text{mm}]$
- pentru proba 5 lungimea se stabilește astfel:
 $L = 2x(80 + 2h) + 55 \quad [\text{mm}]$
 În toate trei cazurile, h este lungimea capătului de prindere a epruvetei de tracțiune.

7.1.7. Executarea depunerilor prin sudare

7.1.7.1. Regimul de sudare

Regimul de sudare va fi cel indicat de producătorul de electrozi.

7.1.7.1.1. 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 7.

Tabelul 7

Diametrul electrodului	Supraînălțarea sudurii
< 5	max. 3
≥ 5	max. 4

Suprafața fiecărui rând se curăță de zgură și de stropi metalici.

7.1.7.1.2. Condiții tehnice

Înainte de sudarea unui nou rând, metalul depus se va răci în aer liniștit.

7.1.7.2. Tratamente termice

7.1.7.2.1. Modalitatea de răcire după sudare

După sudare, probele se răcesc în aer liniștit.

7.1.7.2.2. Modalitatea de răcire după tratamentul termic

Probele supuse tratamentului termic se răcesc în cuptor cu 150°C/h până la 350°C, după care probele se răcesc în aer liniștit.

7.1.7.3. Controlul probelor sudate

7.1.7.3.1. Condiții pentru probe

Probele care după sudare prezintă o deformare, cu valoarea săgeții f (fig.10) mai mare decât 15 mm nu se supun încercărilor.

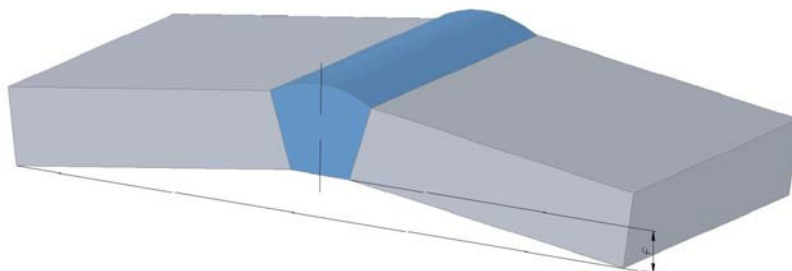


Fig. 10

7.1.7.3.2. Controlul radiografic

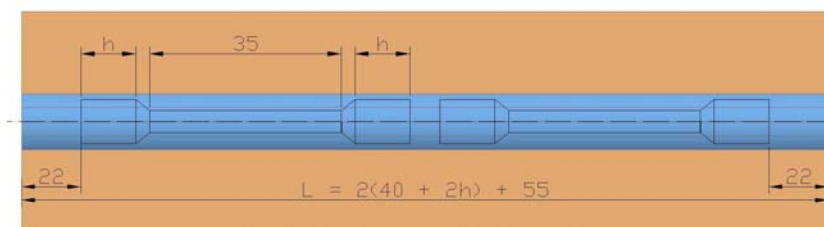
Se recomandă controlul radiografic al probelor de metal depus. Prelevarea epruvetelor se face din probe, care la controlul radiografic nu prezintă incluziuni de zgură, lipsă de topire, nepătrunderi, fisuri și alte defecte care pot influența negativ rezultatele încercărilor mecanice. În urma controlului radiografie probele de metal depus trebuie să se încadreze în clasa II de execuție, conform STAS 9398-79.

7.1.7.4. Prelevare și pregătirea epruvetelor

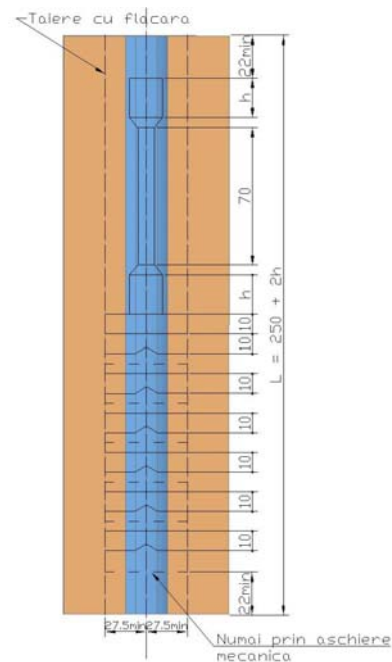
7.1.7.4.1. Mod de prelevare

Prelevarea epruvetelor din probele 2,3,4 și 5 se efectuează prin așchiere.

Se admite prelevarea epruvetelor de tracțiune cu flacăra oxiacetilenică, conform indicațiilor din fig.11.



a)



b)

Fig.11

7.1.7.4.2. Prelevare epruvete tracțiune

Din metalul depus pe probele 2, 3 și 4 se prelevează câte o epruvetă de tracțiune rotundă conform STAS 200-75 și din fig.11a și fig.12a. Din proba 2, în cazul electrodului cu diametru

2,5mm se prelevează două epruvete de tracțiune, conform fig. 11b și fig. 12b iar din proba 5 se prelevează două epruvete de tracțiune conform fig.9

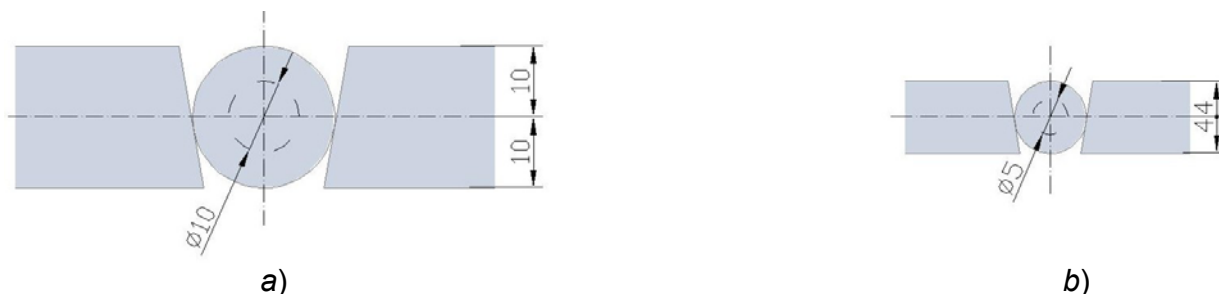


Fig. 12

7.1.7.4.3. **Tratare epruvete tracțiune**

Epruvetele pentru de tracțiune se supun tratamentului termic corespunzător.

7.1.7.4.4. **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.11 și fig.13.

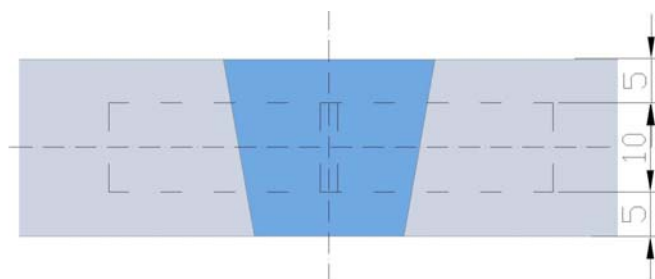


Fig. 13

EXECUTAREA LUCRARILOR

7.2.1. **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.

7.2.2. **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,
- gâtuirea la rupere

Limita de curgere tehnică la cald se determină conform STAS 6638 - 79.

7.2.3. 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.

7.2.4. Tratarea rezultatelor nesatisfacatoare

Dacă rezultatele încercărilor sunt nesatisfăcătoare, se repetă încercările pe un număr dublu de epruvete.

Rezultatele încercărilor repetate se consideră definitive.

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

Controlul compoziției chimice

Controlul compoziției chimice a metalului depus prin sudare se face:

În cazul electrozilor cu diametru $>3,15\text{ mm}$, la care se efectuează controlul caracteristicilor mecanice, controlul compoziției chimice se execută pe așchii prelevate, conform STAS 2015-73, din porțiunea calibrată a epruvetei de tracțiune ruptă.

În cazul electrozilor m diametrul $< 3,15\text{ mm}$ și al electrozilor la care nu se efectuează controlul caracteristicilor mecanice, controlul 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 $< 0,15\text{ mm}$, respectiv de 10 mm pentru cei cu diametru $>3,15\text{ mm}$ 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.

8.1. Probe folosite

Pentru determinarea compoziției chimice se folosesc următoarele tipuri de probe sudate :

- metal depus pe placă,
- metal depus între plăci cu placă suport,
- îmbinări sudate cap la cap,
- îmbinări sudate în colț.

8.2. 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.)

8.3. 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. 1. Dimensiunile plăcii și ale depunerii, conform tabelului 8 și fig. 14.

Tabelul 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

8.4. 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 curăța 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.

8.5. PRELEVAREA PROBELOR

8.5.1. Condiții de prelucrare

8.5.1.1. 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.

8.5.1.2. Condiții de obținere

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.

8.5.1.3. 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.

8.5.1.4. 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.

8.5.1.5. Condiții de prelevare

8.5.1.5.1. 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. Zonele de prelevare

8.5.1.5.2. 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.

8.5.1.5.3. Direcții de așchiere

Așchiile din probele de metal depus pe placă se prelevează după o direcție înclinată față de placa suport, conform fig.14, prin frezare sau rabotare.

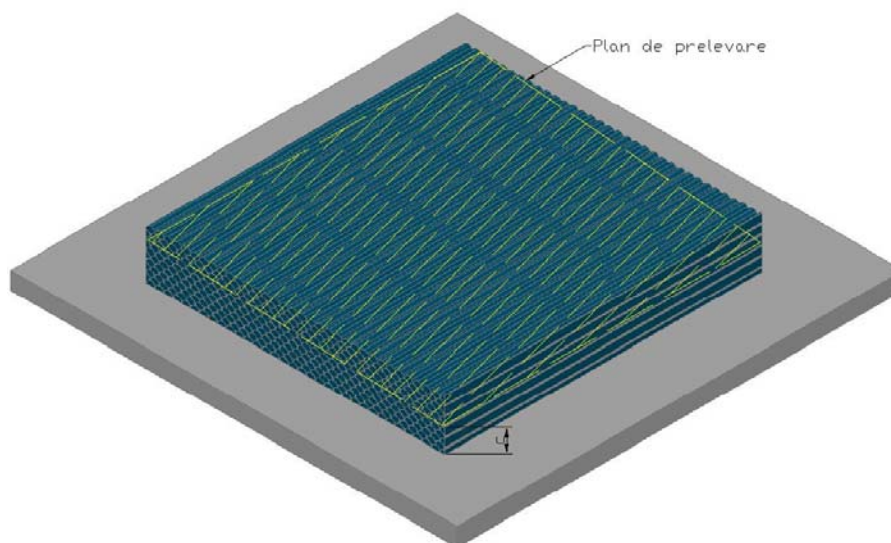


Fig.14

Distanța minimă (c) de la placa suport la planul de prelevare (fig.14) trebuie să fie conform tabelului 8 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.

8.5.1.5.4. 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 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
Sudare automată în mediu de gaz protector, cu electrozii fuzibili și nefuzibili Sudare electrică sub strat de flux	40

8.5.1.5.5. 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.

8.5.1.5.6. 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.

8.5.2. Prelevarea probelor pentru analiză spectrală

8.5.2.1. 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.

8.5.2.2. 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.

8.5.2.3. 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. 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. 16.

8.5.2.4. 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. 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. 17), dacă documentele tehnico- normative pe produs nu prevăd altfel.

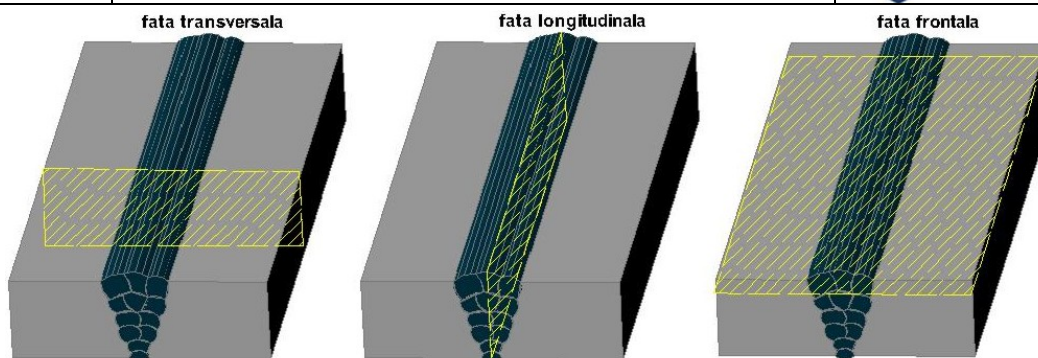


Fig. 15

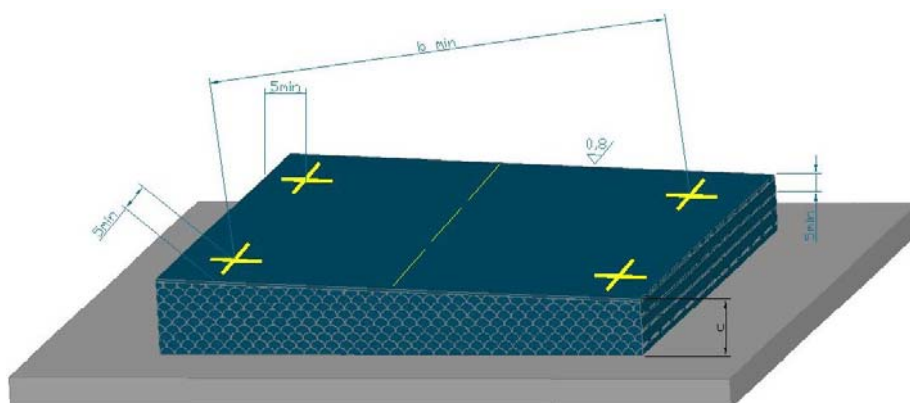


Fig. 16

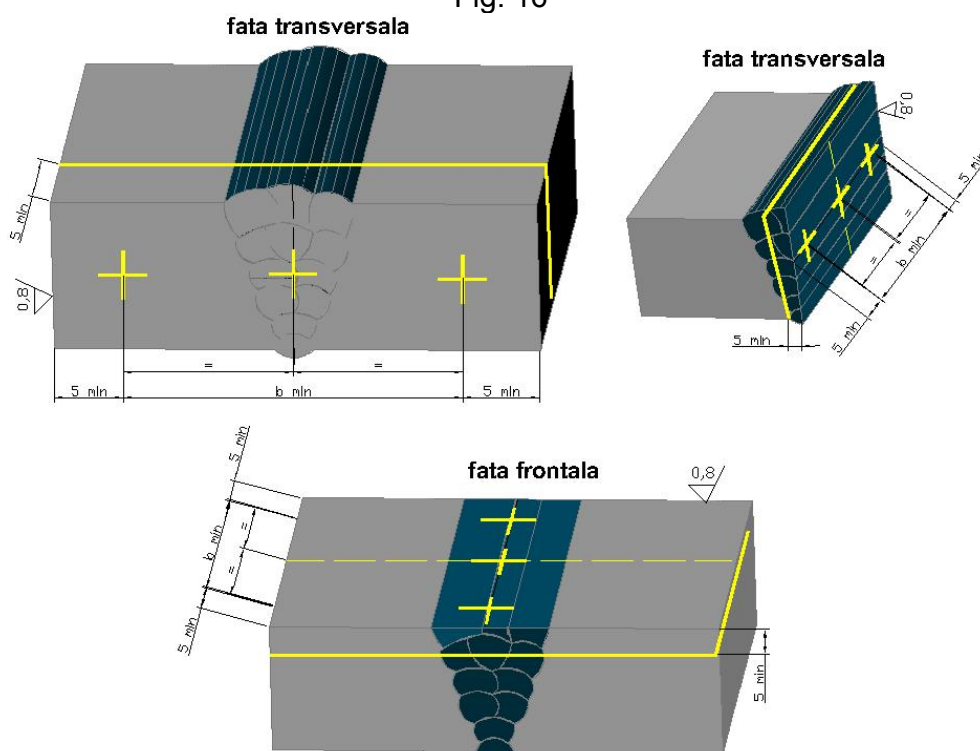


Fig. 17

Controlul conținutului de hidrogen

Controlul 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.

Controlul sensibilității la fisurare

Controlul sensibilității la fisurare la cald se execută conform STAS 10221-75, prin metoda de încercare cu deformare unghiulară (proba sudată în T).

Controlul caracteristicilor de depunere

Controlul caracteristicilor de depunere ale electrozilor se execută conform STAS 10014-75.

11.1. Domeniu de aplicare

Se 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.

11.2. 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.

11.2.1. Condiții atmosferice

Determinarea se face în condițiile atmosferei ambiante de încercare conform STAS 6300-64

11.2.2. Definiții și simboluri

Conform tabelului 10.

Tabelul 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

Termen	Simbol	Definiție	Unitate de măsură
Masa capetelor neconsumate ale electrozilor	m_{en}	Masa totală a capetelor neconsumate ale electrozilor, după executarea depunerii prin sudare	g
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

$\alpha_T = (m_{sT} / I_s \cdot t)$ (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

11.2.3. 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 11.

Tabelul 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 %

11.2.4. CONDIȚII TEHNICE PENTRU DETERMINĂRI

11.2.4.1. Placa de bază

11.2.4.1.1. Placa de baza, material

Placa de bază se execută din metalul de bază pentru care sunt destinați electrozii.

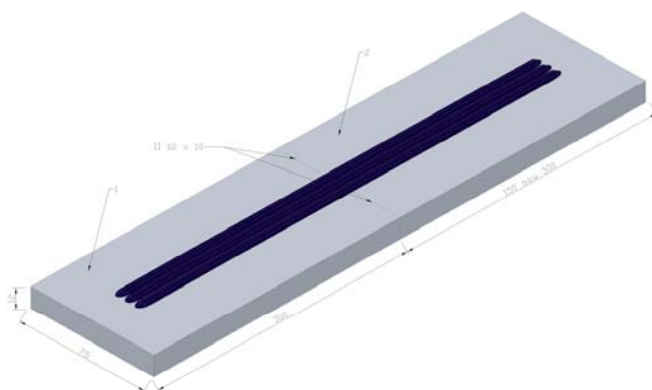
11.2.4.1.2. Placa de baza, dimensiuni

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.

11.2.4.1.3. Suprafata placii 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

Fig. 18

11.2.4.2. Electrozi

11.2.4.2.1. Număr de electrozi

Pentru fiecare diametru din marca electrozilor supuși determinării se folosesc la depunere câte 3 electrozi cu aceeași lungime.

11.2.4.2.2. Număr de electrozi, pentru electrozi sub 100g

Dacă masa sârmei electrozilor este mai mică de 100 g, depunerea se execută cu

5 electrozi.

11.2.4.2.3. Electrozi cu înveliș hidroscopic

Electrozii cu înveliș higroscopic trebuie să fie uscați înaintea executării depunerii, conform indicațiilor producătorului.

11.2.4.2.4. Marcare electrozi

Pe suprafața învelișului electrozilor se marchează, cu un semn, distanța de 50 ± 1 mm față de capătul de prindere în portelectrod.

11.2.4.3. Surse de curent

11.2.4.3.1. Felul curentului de sudare

Sursele de curent pentru sudare se aleg în funcție de felul curentului indicat de producătorul electrozilor.

11.2.4.3.2. 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.

11.2.4.3.3. 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 k_F trebuie să corespundă funcționării transformatorului în scurtcircuit, între limitele:

$$1,11 < k_F < 1,20$$

în care:

valoarea efectivă a curentului alternativ

$$k_F = \frac{\text{valoarea efectivă a curentului alternativ}}{\text{valoarea medie a curentului alternativ}}$$

OBSERVAȚIE. - Factorul de formă k_F 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).

11.2.5. -EXECUTAREA DETERMINĂRII

11.2.5.1. Depunerea prin sudare

11.2.5.1.1. 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 semnului marcat pe înveliș conform pct. 4.2.2.4.

11.2.5.1.2. 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.

11.2.5.1.3. Condiții de răcire între straturi

După fiecare trecere, proba se poate răci în apă și apoi uscată înaintea 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.

11.2.5.2. Măsurarea mărimilor pentru calcul

11.2.5.2.1. Mărimi determinate înaintea executării

Înaintea executării 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.

11.2.5.2.2. Mărimi determinate în timpul procesului de sudare

În timpul executării depunerii prin sudare se determină următoarele mărimi:

- curentul de sudare;
- timpul de sudare.

o 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.

o Precizia mărimilor măsurate

Precizia măsurărilor trebuie să fie în limitele indicate în tabelul 12.

Tabelul 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

11.2.5.3. Calculul caracteristicilor de depunere

11.2.5.3.1. Calculul masei metalului depus

Masa metalului depus se calculează cu relația:

$$m_D = m_{pu} - m_{po} \quad [g]$$

11.2.5.3.2. Randamentul nominal al electrodului

Randamentul nominal al electrodului se calculează cu relația:

$$RN = m_D / m_{os} \cdot 100 \quad [\%]$$

11.2.5.3.3. Randamentul nominal efectiv al electrodului

Randamentul nominal efectiv al electrodului se calculează cu relația:

$$RE = m_D / (m_{SO} - m_{ns}) \cdot 100 \quad [\%]$$

11.2.5.3.4. Randamentul global al electrodului

Randamentul global al electrodului se calculează cu relația:

$$RG = m_D / m_{e0} \cdot 100 \quad [o/o]$$

11.2.5.3.5. Randamentul global efectiv al electrodului

Randamentul global efectiv al electrodului se calculează cu relația:

$$RD = m_D / (m_{e0} - m_{ep}) \cdot 100 \quad [\%]$$

11.2.5.3.6. Coeficientul de depunere al electrodului

Coeficientul de depunere al electrodului se calculează cu relația:

$$D = m_D / (I \cdot t) \quad [g/A \cdot min]$$

11.2.5.3.7. Rotunjirea rezultatelor

Rezultatele calculului se rotunjesc astfel:

- pentru randamente, la valori întregi;
- pentru coeficientul de depunere, la valori întregi cu două zecimale.

11.2.6. 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,

Controlul pătrunderii

Controlul pătrunderii la sudare se execută conform STAS 9759- 71 , proba de depunere pe placă a unui singur rând de metal de adaos (proba 1).

12.1. PREGĂTIREA PROBELOR

12.1.1. Proba 1

Depunerea pe placă a unui singur rând de metal de adaos.

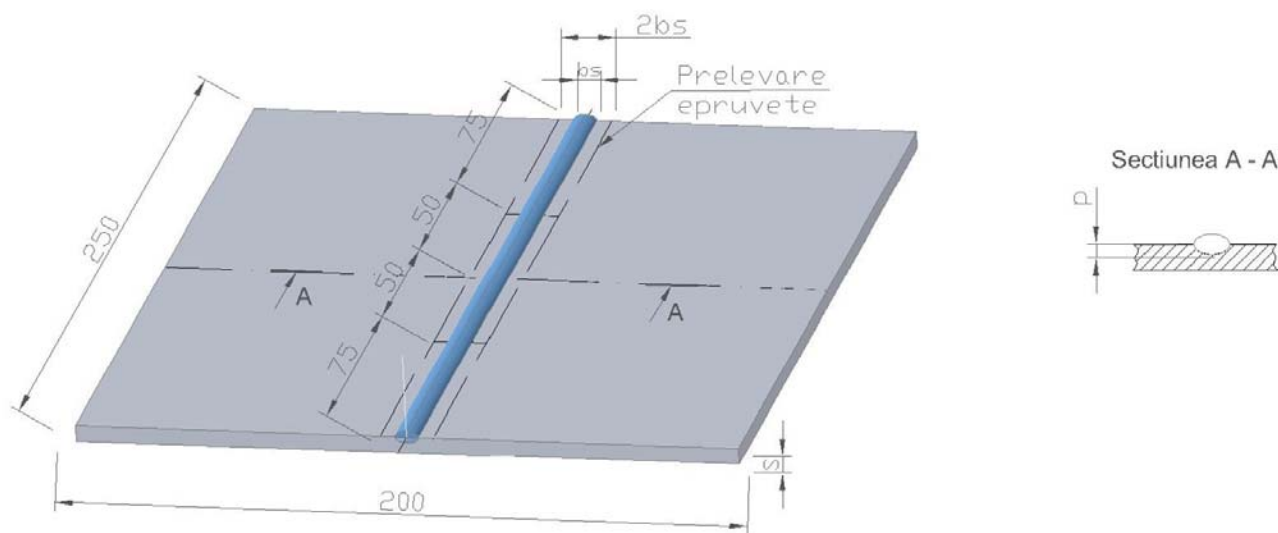


Fig. 19

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.19.

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 13, funcție de tipul și diametrul metalului de adaos folosit “d”.

Tabelul 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.

12.1.2. 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 20 și 21.

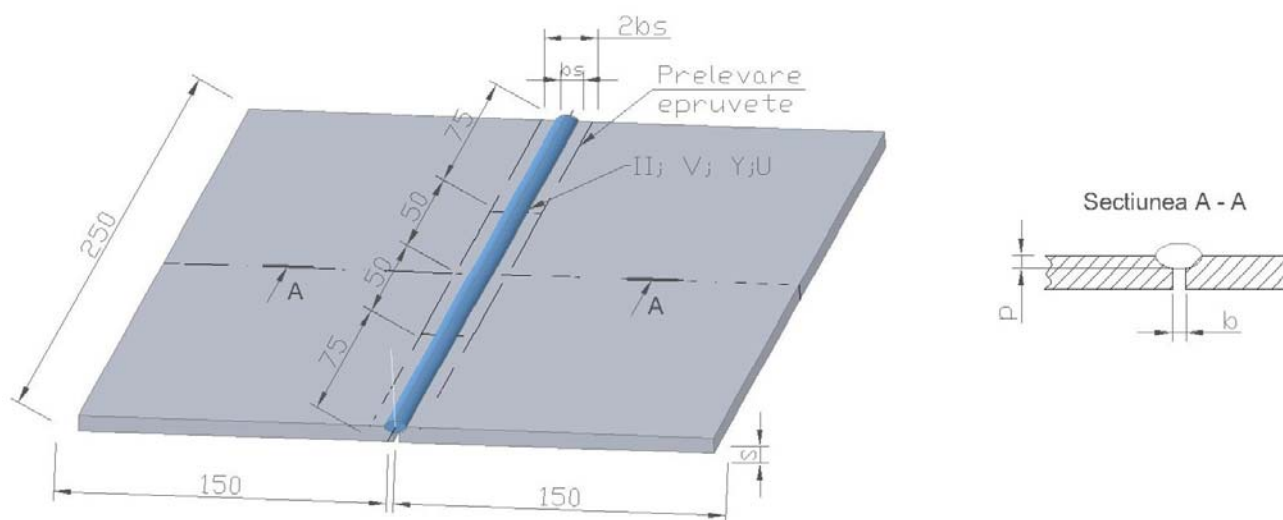


Fig. 20

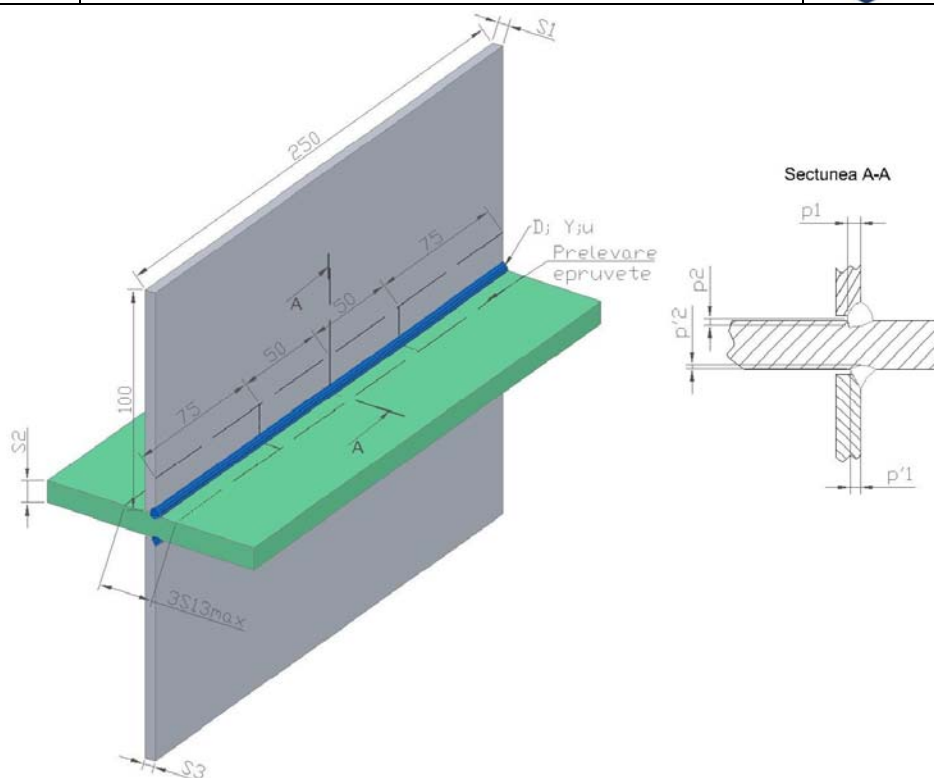


Fig. 21

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.

12.2. PRELUCRAREA EPRUVETELOR

12.2.1. 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.

12.2.2. 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. 20 și fig. 21 se pregătește numai la o singură epruvetă.

12.2.3. Evidențierea zonei topite

Evidențierea conturului zonei topite din metalul de bază se obține printr-un atac chimic adecvat.

12.3. DETERMINAREA PATRUNDERII

12.3.1. 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. 19 sau 20), respectiv p_1 , p_2 , p'_1 , p'_2 (fig.21).

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.

12.3.2. 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. 22).

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.

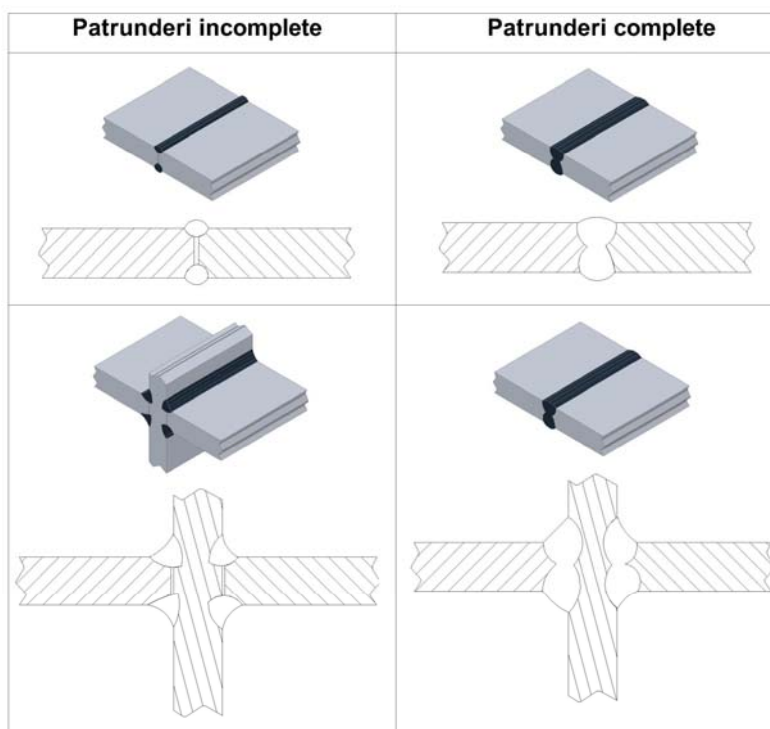


Fig. 22

12.4. 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.

Controlul defectelor

Controlul defectelor se execută conform STAS 6606-75.

La înțelegere între producător și beneficiar se pot executa și alte verificări sau încercări.

În cazul obținerii unor rezultate necorespunzătoare la una din verificările prescrise, chiar numai la o singură probă, controlul 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.

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 tehnică pentru marca respectivă.

DETRMINAREA COMPATIBILITATII MATERIALELOR DE SUDARE

15.1. PREGATIREA PROBELOR

15.1.1. Forma și dimensiunile probelor

15.1.1.1. 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. 22 sau din țevi sudate cap la cap conform fig. 24. Pentru electrozi cu diametrul vergelei de 2 sau 2,5mm se recomandă probe din table sudate cap la cap conform fig. 23, dar cu grosimea de 2...4mm, din care se prelevează epruvete pentru încercarea la tracțiune, îndoire și pentru determinarea durității

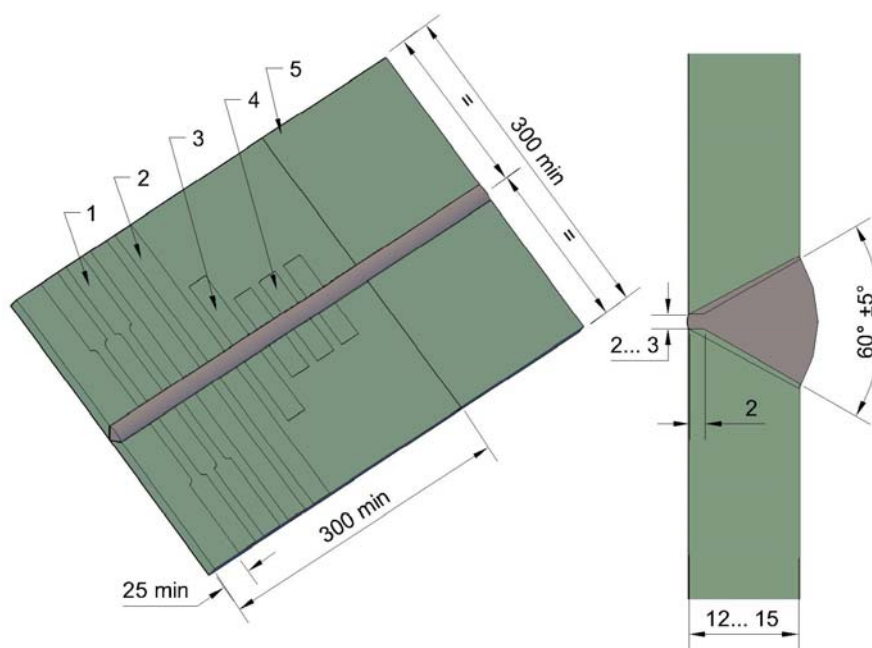


Fig. 23

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 - rezervă pentru contraprobe.

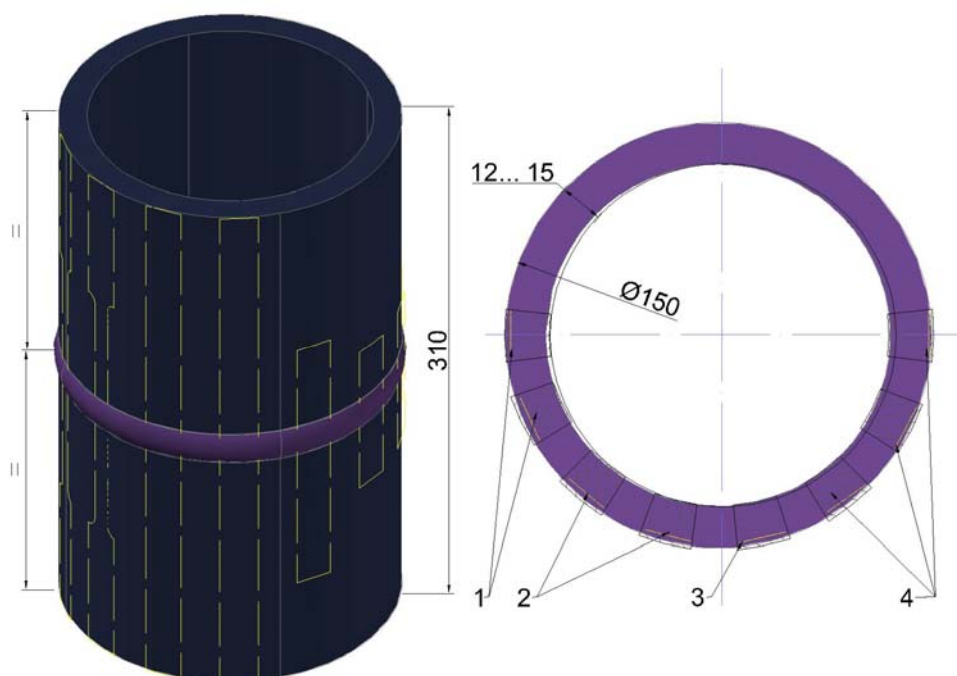


Fig. 24

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.

15.1.1.2. Probe pentru omologare

Probele pentru determinarea compatibilității executate la omologarea tehnologiei de sudare, se stabilesc prin documentația tehnică a construcției sudate.

15.1.1.3. Prelucrări pentru table sau țevi

Capetele tablelor sau țevelor înainte de sudare se prelucurează prin așchiere sau tăiere termică. În caz de litigiu prelucrarea se execută prin așchiere.

15.1.1.4. Probe pentru determinarea compatibilității

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.

15.1.2. Sudarea probelor

15.1.2.1. 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.

15.1.2.2. Starea suprafețelor

Suprafața fiecărui rând se curăță de zgură și de stropi metalici.

15.1.2.3. 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).

15.1.2.4. 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.

15.1.2.5. 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.

15.1.2.6. Controlul probelor sudate

15.1.2.6.1. 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.

15.1.2.6.2. Controlul nedistructiv

Controlul cu radiații penetrante a defectelor interioare, conform STAS 6606-75.

15.1.2.6.3. Probe respinse pentru testare

Probele care nu respectă condițiile de la pct. 15.1.1.4, 15.1.2.6.1 nu se utilizează pentru încercări.

15.2. PRELEVAREA ȘI PRELUCRAREA EPRUVETELOR

15.2.1. Condiții de execuție

Prelevarea epruvetelor se execută conform fig. 23 sau fig. 24.

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.

15.2.2. 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.

15.2.2.1. Controlul nedistructiv

Controlul cu radiații penetrante a defectelor interioare, conform STAS 6606-75.

15.2.2.2. Probe respinse pentru testare

Probele care nu respectă condițiile de la pct. 15.1.1.4 și 15.1.2.6.1 nu se utilizează pentru încercări.

15.3. EXECUTAREA ÎNCERCĂRILOR

15.3.1. Formele și dimensiunile probelor

Încercarea la tracțiune se execută conform STAS 5540/2-77, pe două epruvete, determinându-se media aritmetică a valorilor obținute.

15.3.2. 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.

15.3.3. 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 .

15.3.4. Încercarea de duritate

Încercarea de duritate se execută conform STAS 5540/5-77, pe o epruvetă.

15.3.5. Omologarea tehnologiei de sudare

Pentru omologarea tehnologiei de sudare, prin documentația tehnică a construcției sudate se poate prevedea un alt număr de epruvete.

15.3.6. 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.

15.4. 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;