Bogdan NOVAC

TEHNOLOGIA SUPRAFEȚELOR

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

2026

EDITURA UNIVERSITĂȚII TRANSILVANIA DIN BRAȘOV

Adresa: Str. Iuliu Maniu nr. 41A
500091 Brașov

Tel.: 0268 476 050

Fax: 0268 476 051

E-mail: editura@unitbv.ro

Editură recunoscută CNCSIS, cod 81

ISBN 978-606-19-1889-8 (e-book)

Copyright © Autorul, 2026

Referenți științifici:

Prof. univ. dr. Ioan Călin ROȘCA, Universitatea Transilvania din Brașov

Conf. univ. dr. Nicolae CREȚU, Universitatea Transilvania din Brașov

CUPRINS

1. UZAREA PIESELOR PRIN FRECARE 7

1.1. Tipuri de uzare 7

1.1.1. Uzarea de abraziune: 7

1.1.2. Uzarea de adeziune 8

1.1.3. Uzarea de oboseală: 8

1.1.4. Uzarea de coroziune: 8

1.1.5. Uzarea de impact: 8

2. METODE DE APRECIERE A UZĂRII 10

2.1. Metode discontinue de determinare a uzării 10

2.2. Metode continue de determinare a uzării pieselor 11

2.3. Stabilirea limitelor admisibile ale uzărilor 11

3. METODE ȘI PROCEDEE DE RECONDIȚIONARE 13

3.1. Metoda de recondiționare a pieselor la dimensiuni de reparație 13

3.2. Metoda recondiționării pieselor prin înlocuiea părților uzate 15

3.3. Metoda recondiționării pieselor cu ajutorul compensatoarelor de uzare 15

3.4. Procedee de reconditionare 16

3.5. Procedee de recondiționare a pieselor prin sudare 18

4. PREGĂTIREA PIESELOR ÎN VEDEREA RECONDIȚIONĂRII LOR PRIN SUDARE 20

4.1. Tipuri de materiale care se folosesc pentru fabricarea pieselor 21

5. PROCEDEE DE RECONDIȚIONARE PRIN SUDARE ȘI ÎNCĂRCARE A PIESELOR PRIN TOPIRE 30

5.1. Procedee de recondiționare prin sudare și încărcare a pieselor prin topire cu arc electric 30

5.2. Încărcarea prin sudare electrică sub strat de flux 35

5.3. Sudarea și încărcarea cu arc electric în mediu de bioxid de carbon (MAG) 41

5.4. Încărcarea cu arc electric vibrator sau prin vibrocontact 45

5.4.1. Procedee de încărcare prin vibrocontact 46

5.5. Încărcarea prin sudare electrică în baie de zgură 50

5.6. Încărcarea prin sudare cu plasmă 52

5.7. Încărcarea prin sudare în arc de plasmă cu două sârme calde 57

5.8. Încărcarea prin sudare în arc de plasmă cu pulbere 59

5.9. Încărcarea prin sudare cu flacără de gaze 61

5.9.1. Recondiționarea prin sudare cu flacără de gaze a pieselor din oțel carbon. 64

5.9.2. Recondiționarea prin sudare cu flacără de gaze a pieselor din fontă. 65

5.9.3. Recondiționarea prin sudare cu flacără de gaze a pieselor din aluminiu. 67

6. MANAGEMENTUL TEHNOLOGIC AL PROCESELOR DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE 72

6.1. Strategii de determinare a temperaturii de preîncălzire și influența acesteia asupra caracteristicilor ansamblului încărcat 77

7. TRATAMENTE TERMICE DUPĂ SUDARE 87

8. EXEMPLE DE TEHNOLOGII DE PIESE ÎNCĂRCATE PRIN SUDARE 93

8.1. Particularități de exploatare 94
8.2. Concepția structural-constructivă 94
8.3. Stabilirea ansamblului material de adaos-material de bază 97
8.4. Tehnologia de încărcare și tratament termic 98
8.5. Tehnologia de fabricare prin încărcare cu sudură a cămășilor de expandor pentru cauciuc 99
8.5.1. Concepția structural-constructivă 101
8.5.2. Tehnologia de încărcare prin sudare 104

9. DEFECTELE DEPUNERILOR 105

10. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE DEPUNERILOR 112
10.1. Determinarea compoziției chimice 114
10.2.Analiza metalografică 115
10.3.Încercările de duritate 116
10.4.Caracterizarea elementelor de aliere și impactul toxicologic al acestora 117
11. TEHNOLOGII DE ACOPERIRE TERMICA PRIN PULVERIZARE 122
(METALIZARE) 122
11.1. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu materialde adaos sub formă de sârmă topită în flacără oxiacetilenică 125
11.2. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de pulbere topită în flacără oxiacetilenică 128
11.3. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de sârmă topită în arc electric 129
11.4. Tehnologia de recondiționare a pieselor prin metalizare 131
11.5. Prelucrarea mecanică pentru asigurarea aderenței stratului metalizat 137

11.6. Tehnologia executării metalizării prin pulverizare 141
11.7. Alegerea materialelor de adaos și proprietățile acestora 147
11.8. Procedee de recondiționare prin încărcare cu aliaje dure prin sudare și metalizare 148

12. CONTROLUL, TESTAREA PIESELOR ȘI SUBANSAMBLURILOR RECONDIȚIONATE 158

BIBLIOGRAFIE 179

PREFAȚĂ

Practica actuală din domeniul producției de bunuri necesare funcționării instalațiilor, utilajelor și echipamentelor moderne acordă o atenție sporită implementării unor noi concepții privind crearea de noi modele economice, optimizarea producției de piese și subansambluri precum și pe eficientizare în timpul funcționării acestora.

Mașinile, instalațiile și utilajele trebuie întreținute pentru a funcționa în parametri normali între două reparații planificate și mai ales pentru a evita reparațiile neprevăzute. În condițiile unei accentuări a crizei energetice dar și a lipsei de materiale necesare pentru fabricarea pieselor, se pune din ce în ce mai mult accentul pe recuperare, recondiționare și refolosire a acestora.

Totodată pe viitor se va ține seama și de agenda *OCDE – Viitorul Educaţiei 2030*, care porneşte de la următoarele premise: epuizarea resurselor naturale, schimbările pe plan economic şi noile provocări pe plan social. Pe viitor, copiii vor trebui să pună în valoare prosperitatea şi bunăstarea comună, colaborarea înaintea competiţiei şi durabilitatea peste câştigul pe termen scurt.

Cartea este structurată în 12 capitole și prezintă atât noțiuni teoretice cât și practice. În primul capitol sunt prezentate noțiuni de bază despre uzarea pieselor și principalele tipuri de uzare în timpul funcționării, cauză ce duce la scoaterea din folosință a acestora. Următoarele capitole cuprind o descriere a metodelor de recondiționare a pieselor prin sudare, tratamente termice după sudare, dar și tehnologiile de acoperire termică prin pulverizare (metalizare).

În cadrul procedeelor de recondiționare prin sudare s-a ținut cont de particularitățile acestora precum și de gama lor variată. Astfel, din punct de vedere al realizării operațiilor de sudare și încărcare s-au prezentat*: Procedee*

de recondiționare prin sudare și încărcare a pieselor prin topire cu arc electric, încărcarea prin sudare electrică sub strat de flux, încărcarea cu arc electric în mediu de bioxid de carbon (MAG), încărcarea cu arc electric vibrator sau prin vibrocontact, încărcarea prin sudare cu plasmă. Dintre procedeele de recondiționare prin pulverizare sunt amintite: *Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu materialde adaos sub formă de sârmă topită în flacără oxiacetilenică, sub formă de pulbere topită în flacără oxiacetilenică, sub formă de sârmă topită în arc electric*. Tot în cadrul capitolului „*Tehnologii de acoperire termică prin pulverizare*" se prezintă și modul de alegere al materialelor de adaos și proprietățile lor, prelucrarea mecanică pentru asigurarea aderenței stratului metalizat precum și executarea propriu-zisă a metalizării prin pulverizare.

Ultimul capitol prezintă probe și încercări ale pieselor și subansamblurilor recondiționate.

Cartea este menită să vină în sprijinul studenților și masteranzilor din domeniile: inginerie mecanică, inginerie civilă, inginerie tehnologică, inginerie industrială și îndeosebi a celor de la specializarea ingineria sudării, cât și a celor pasionați de aceste ramuri inginerești.

Lucrarea oferă un ansamblu de informații esențiale pentru asimilarea tehnicilor de recondiționare a pieselor supuse diverselor solicitări în timpul funcționării lor.

1. UZAREA PIESELOR PRIN FRECARE

Frecarea este fenomenul de interacțiune mecanică și moleculară ce apare la nivelul suprafețelor de contact aflate în mișcare relativă sub efectul unei forțe de apăsare, indiferent dacă există sau nu un lubrifiant.

În funcție de prezența și tipul mediului dintre suprafețe, frecarea se împarte în:

- **Frecare uscată:** Contactul direct între suprafețele solide, fără lubrifiant, provoacă cea mai mare uzare;
- **Frecare la limită:** Suprafețele sunt separate de un strat foarte subțire de lubrifiant;
- **Frecare mixtă:** Există zone de contact direct, uscat cu zone separate de lubrifiant;
- **Frecare fluidă:** Suprafețele sunt complet separate de lubrifiant, uzarea fiind redusă la minim.

În procesul frecare – uzare, frecarea este constantă, iar uzarea se produce aleatoriu.

1.1. Tipuri de uzare

Uzarea fizică este procesul progresiv și distructiv de degradare fizico-chimică a straturilor superficiale ale pieselor. Indiferent că este vorba despre frecare uscată sau în prezența unui lubrifiant, fenomenul duce la modificarea dimensională a pieselor.

În funcție de mecanismul de producere, uzarea se clasifică în cinci tipuri fundamentale:

1.1.1. UZAREA DE ABRAZIUNE (Cel mai frecvent întâlnită): Este un proces mecanic declanșat de particule dure sau de asperitățile rigide ale uneia

dintre piese. Se manifestă vizibil prin deformații plastice locale, microzgâriere și microașchiere. Este responsabilă pentru peste 50% din totalul defecțiunilor mecanice din industrie. Apare inevitabil din cauza prafului, impurităților din aer, lubrifianți sau a urmelor de uzare anterioare.

1.1.2. UZAREA DE ADEZIUNE (În urma frecării de contact și este cea mai distructivă): Apare la terminarea stratului lubrifiant, când microasperitățile suprafețelor conjugate se sudează local sub presiune și se rup ulterior în timpul mișcării. Procesul generează forțe de frecare mari și rate ridicate de uzare. Forma sa extremă este griparea, provocată de sarcini mari și încălziri locale severe care topesc materialul.

Această formă de uzare, conduce direct la **gripare** (blocarea totală a pieselor), distrugând iremediabil componentele în doar câteva secunde.

1.1.3. UZAREA DE OBOSEALĂ: Este principala cauză de degradare a componentelor care rulează pe perioade lungi, cum ar fi rulmenții sau roțile dințate etc.

Rezultă din solicitările ciclice repetate ale zonelor de contact. Acestea provoacă deformații plastice în rețeaua cristalină a materialului, generând microfisuri care evoluează spre exfolieri, ciupituri și desprinderi de particule.

1.1.4. UZAREA DE COROZIUNE: (Dependentă de mediul de lucru) Reprezintă degradarea suprafețelor prin acțiunea simultană sau succesivă a solicitărilor mecanice și a agenților chimici din mediu, având ca efect pierderea continuă de material.

Apariția ei este mult mai frecventă în industrii specifice precum industria chimică, petrolieră sau marină. Aceasta slăbește structura materialului, accelerând formarea microfisurilor și a abraziunii.

1.1.5. UZAREA DE IMPACT: Este cauzată de șocuri și lovituri locale repetate, asociate cu mișcări de alunecare sau rostogolire. Este specifică utilajelor grele de concasare sau măcinare, precum morile cu bile și concasoarele cu ciocane.

Această formă de uzare nu apare la majoritatea mașinilor obișnuite, ci este strict legată de utilajele supuse la șocuri și percuții mecanice. Provoacă deformări plastice majore și fisuri rapide în zonele de impact direct, dar numai la echipamente specifice enumerate anterior (utilaje miniere, de concasare, mori industriale).

2. METODE DE APRECIERE A UZĂRII

2.1. Metode discontinue de determinare a uzării

Aceste metode permit măsurarea nivelului de uzare direct pe piese, însă necesită oprirea utilajului și demontarea componentelor. Cele mai utilizate tehnici sunt:

Metoda micrometrică (măsurarea dimensiunilor): Constă în măsurarea piesei înainte și după utilizare cu ajutorul unor instrumente de precizie (micrometre, comparatoare mecanice, optice sau pneumatice). Scăderea în dimensiune indică uzura.

Dezavantaj: Rezultatul final include atât uzura reală, cât și modificările de formă ale piesei (deformări, ovalizări sau conicități aparute în timp).

Metoda amprentelor: Pe suprafața piesei se presează o mică formă geometrică (o piramidă) cu un vârf de diamant. Pe măsură ce piesa se uzează, adâncimea și dimensiunea acestei amprente scad.

Dezavantaj: Apăsarea diamantului poate deforma ușor materialul din jur. Se recomandă în special pentru piese mici, unde alte instrumente nu pot ajunge.

Metoda profilografică: Cu ajutorul unui aparat special (profilograf), se desenează „harta” suprafeței înainte și după funcționare. Uzura se calculează comparând diferențele de înălțime dintre cele două grafice.

2.2. Metode continue de determinare a uzării pieselor

Aceste metode măsoară uzura direct în timpul funcționării, fără a mai opri mașina sau a demonta piesele. Ele oferă date rapide în timp real despre cum se comportă suprafețele în condiții reale de lucru.

Cele mai folosite tehnici sunt:

A. **Metoda chimică:** Constă în colectarea unor probe de lubrifiant și măsurarea cantității de particule de metal desprinse din piese prin uzare.

Dezavantaj: Procedeul de analiză durează destul de mult și ne arată doar o uzare generală; nu ne poate spune exact pe ce porțiune s-a uzat piesa. Este folosită mai mult pentru a compara eficiența diferitelor uleiuri sau piese.

B. **Metoda izotopilor radioactivi (marcare radioactivă):** În materialul piesei se introduc, din fabrică sau prin tratament, cantități sigure și foarte mici de substanțe radioactive. Pe măsură ce piesa se uzează, particulele desprinse ajung în ulei. Un aparat special numit contor, măsoară nivelul de radioactivitate din ulei: cu cât uleiul devine mai radioactiv, cu atât uzura piesei este mai mare.

2.3. Stabilirea limitelor admisibile ale uzărilor

În funcție de starea lor tehnică (dimensiuni, jocuri, calitatea suprafeței), piesele sau ansamblurile unui utilaj se pot afla în trei stadii diferite:

I. **Caracteristici normale:** Piesa respectă perfect cotele și condițiile din proiectul tehnic;

II. **Caracteristici admisibile:** Piesa are urme de uzare, dar poate fi remontată așa cum este. Ea va funcționa corect, fără reparații, până la următoarea revizie majoră;

III. **Uzări sau jocuri limită (maxime):** Piesa a atins degradarea maximă și nu mai asigură o funcționare sigură. Utilajul trebuie oprit pentru înlocuire sau recondiționare.

CRITERII PENTRU STABILIREA LIMITELOR DE UZU

Pentru a decide exact când o piesă a atins stadiul limită se folosesc patru criterii esențiale:

1. **Criteriul funcțional (sau tehnologic):** Se aplică atunci când mașina continuă să meargă, dar piesele uzate nu mai permit realizarea producției la calitatea sau la viteza dorită;
2. **Criteriul recondiționabilității:** Stabilește că o piesă trebuie scoasă din funcțiune înainte de a se distruge complet. Dacă se depășește această limită, piesa nu mai poate fi recondiționată prin strunjire sau sudură și va trebui înlocuită;
3. **Criteriul economic:** Definește limita, momentul în care utilajul devine prea scump de utilizat. Din cauza uzării, acesta începe să consume prea mult curent, carburant sau ulei, crescând exagerat costurile de exploatare;
4. **Criteriul tehnic:** Se bazează pe calcule de rezistență. Limita este dictată de momentul în care piesa afectată de uzare riscă să se rupă brusc sub acțiunea forțelor, a șocurilor sau a temperaturilor mari din timpul funcționării.

3. METODE ȘI PROCEDEE DE RECONDIȚIONARE

Uzarea pieselor mărește jocurile dintre componente, afectând funcționarea corectă a ansamblurilor mecanice. Pentru a readuce aceste jocuri la valorile normale din fabrică, se folosesc două soluții:

- **Înlocuirea completă:** Piesele uzate sunt înlocuite cu altele noi.
- **Recondiționarea:** Piesele vechi sunt reparate și refolosite prin diferite procedee tehnice.

În practica industrială se folosesc ambele variante. Totuși, recondiționarea este din ce în ce mai utilizată deoarece reduce consumul de piese noi, economisește materiale și scade costurile de întreținere.

Recondiționarea pieselor ce prezintă uzare se realizează prin următoarele metode principale:

- ***Metoda recondiționării pieselor uzate la dimensiuni de reparație;***
- ***Metoda recondiționării pieselor prin readucerea la dimensiuni nominale;***
- ***Metoda recondiționării pieselor prin înlocuirea părții uzate;***
- ***Metoda recondiționării pieselor cu ajutorul compensatoarelor de uzare;***
- ***Metoda recondiționării pieselor prin deformare plastică.***

3.1. Metoda de recondiționare a pieselor la dimensiuni de reparație

Această metodă constă în refacerea formei geometrice și a calității suprafeței piesei prin prelucrare mecanică, fără a mai păstra dimensiunile nominale din fabrică.

Zona uzată este rectificată sau strunjită până când dispar toate urmele de deteriorare, piesa primind o nouă cotă geometrică numită **dimensiune de reparație**.

În funcție de tipul piesei, noua dimensiune modifică cotele astfel:

- **Scade,** pentru piesele cuprinse – cum sunt **arborii**;
- **Crește,** pentru piesele cuprinzătoare – cum sunt **alezajele**.

Pentru restabilirea jocului inițial din ansamblu, piesa pereche va fi înlocuită cu una nouă, adaptată la noua treaptă de reparație.

METODA RECONDIȚIONĂRII PIESELOR LA DIMENSIUNI NOMINALE

Această metodă constă în încărcarea cu diferite materiale de adaos a suprafețelor uzate ale pieselor și prelucrarea lor după încărcare, la dimensiunile nominale. Prin această metodă se recondiționează un volum mare de piese din oțel, fontă și metale neferoase, care nu pot fi recondiționate la dimensiuni de reparație sau au ajuns la ultima treaptă de reparație. Piesele uzate se încarcă cu materialul de adaos prin sudare, metalizare, depuneri galvanice, acoperiri cu materiale sintetice etc. Procesul tehnologic de încărcare se stabilește în funcție de mărimea uzării piesei care se recondiționează, de condițiile de lucru, de forma și dimensiunile piesei etc. Pentru uzări mari (2÷6mm), încărcarea se execută prin sudare manuală cu arc electric sau prin sudare sub strat de flux. Pentru uzări mijlocii (0,5÷2mm), încărcarea se execută prin metalizare sau prin sudare cu arc electric vibrator, piesele cu uzări mici sub 0,5mm se încarcă prin depuneri galvanice.

3.2. Metoda recondiționării pieselor prin înlocuiea părților uzate

Această metodă se aplică pieselor scumpe și complexe care se uzează foarte tare doar pe anumite zone intens solicitate, în timp ce restul structurii rămâne intact. Este o soluție ideală și pentru componentele care au suferit avarii sau distrugeri locale.

Procesul de reparație cuprinde trei pași simpli:

1. **Îndepărtarea zonei defecte:** Porțiunea distrusă este tăiată sau prelucrată mecanic pentru a fi eliminată;
2. **Recuperarea piesei de schimb:** Se realizează o porțiune nouă (un adaos) sau se preia una identică de la o altă piesă casată;
3. **Asamblarea:** Noua porțiune este îmbinată cu piesa de bază prin sudare, presare sau nituire, iar zona este finisată la dimensiunile finale.

Metoda economisește costurile mari de producție și se folosește frecvent pentru componente mari, precum carcase, blocuri de roți dințate sau arbori.

3.3. Metoda recondiționării pieselor cu ajutorul compensatoarelor de uzare

Această metodă elimină jocurile create de uzare prin adăugarea unor piese noi de completare (numite compensatoare). Aceste piese suplimentare acoperă spațiul liber creat prin uzarea materialului sau prin prelucrarea mecanică a suprafețelor pentru refacerea formei.

În funcție de rolul lor funcțional, compensatoarele de uzare se împart în două categorii:

- **Compensatoare mobile (reglabile):** Șaibe, rondele, distanțiere sau pastile de reglaj.
- **Compensatoare fixe:** Bucșe, manșoane, inele, reducții, plăci sau adaosuri sudate sau presate.

METODA RECONDIȚIONĂRII PIESELOR PRIN DEFORMARE PLASTICĂ

Această metodă constă în refacerea dimensiunilor originale prin redistribuirea materialului din zonele mai puțin solicitate către zonele uzate.

Procedeul modifică forma piesei și îi poate îmbunătăți proprietățile fizico-mecanice prin durificare.

După ce materialul este deformat plastic prin presare, refulare, lărgire sau îndreptare, piesa este supusă unei prelucrări prin așchiere (strunjire, rectificare) pentru a primi forma geometrică și cotele finale exacte.

3.4. Procedee de recondiționare

1. **Pregătirea pieselor și a subansamblurilor pentru recondiționare**

Procesul tehnologic de pregătire include următoarele operații preliminare:

- **Recepția:** Primirea componentelor și a subansamblurilor în vederea recondiționării;
- **Prespălarea:** Curățarea, la exterior și interior, pentru îndepărtarea impurităților;
- **Demontarea:** Desfacerea ansamblurilor în subansambluri și piese individuale;
- **Curățarea finală:** Spălarea minuțioasă a tuturor componentelor după demontare;

- **Sortarea:** Evaluarea tehnică a pieselor pentru identificarea defectelor și clasificarea lor (reutilizabile, recondiționabile sau rebuturi).

2. **Recepția tehnică a echipamentelor, utilajelor și instalațiilor pentru mentenanță și reparații.** Diagnosticarea și evaluarea stării tehnice a mașinilor, utilajelor și instalațiilor se face prin următoarele metode:
   - metoda examinărilor;
   - metoda măsurărilor;
   - metoda testelor;
   - metoda măsurărilor speciale.
3. **Prespălarea mașinilor, utilajelor și instalațiilor.** Prespălarea exterioară se face la instalațiile care lucrează în aer liber. Prespălarea interioară se execută la caterele motoarelor, la cutiile de viteză, la carcasele de diferențial etc., folosindu-se petrol, motorină sau soluție de spălare.
4. **Demontarea pe subansambluri și piese.** Aceste operații depind de tipul mașinii și de felul reparației. În cadrul reparațiilor curente se intervine doar asupra componentelor uzate, pe când reparațiile capitale necesită demontarea completă a mașinii. Demontarea se face în ordine inversă asamblării.
5. **Curățarea și spălarea pieselor mașinilor, utilajelor și instalațiilor.** Aceste operații se fac pentru a crea posibilitatea constatării tehnice, sortării, recondiționării și montării pieselor după recondiționare. Cele mai uzuale metode de curățare și spălare sunt: fierberea pieselor în băi staționare, spălarea cu jet de lichid, prin sablare, termochimică, electrolitică etc.
6. **Controlul, detectarea defectelor și sortarea pieselor.** Se realizează prin examinare vizuală, cu instrumente de măsură obișnuite sau cu dispozitive speciale de verificare.

3.5. Procedee de recondiționare a pieselor prin sudare

Recondiționarea prin sudare este utilizată pentru încărcarea cu material a zonelor uzate, repararea fisurilor sau crăpăturilor și asamblarea componentelor rupte. Acest procedeu restabilește geometria inițială a pieselor și redă integritatea structurală a ansamblurilor mecanice.

- ***AVANTAJELE procedeului***
  - **Eficiență economică:** Nu necesită utilaje complexe sau costisitoare și asigură costuri reduse de execuție;
  - **Flexibilitate tehnologică:** Permite depunerea unor straturi de material cu grosimi variabile, iar pregătirea suprafețelor este simplă;
  - **Productivitate ridicată:** Procesul este rapid și oferă posibilitatea de mecanizare sau automatizare;
- ***DEZAVANTAJELE procedului***
  - Stratul depus este neuniform și prezintă denivelări, ceea ce mărește volumul și timpul prelucrărilor mecanice ulterioare (strunjire, rectificare etc.);
  - Temperaturile ridicate din zona de sudură modifică structura cristalină a materialului de bază, putând introduce tensiuni interne sau fragilitate.

Cele două mari categorii de clasificare a acestor procedee sunt:

- Prin topire;
- Prin presiune.

PROCEDEUL DE RECONDIȚIONARE PRIN TOPIRE SE FACE :

1. Cu arc electric (descoperit; sub strat de flux; în mediu de gaz protector);
2. Prin rezistență (electrică în baie de zgură);
3. Cu gaze (cu gaz și pulbere);
4. Cu radiații (cu radiații luminoase; cu laser; cu fascicul de electroni).

PROCEDEUL DE RECONDIȚIONARE PRIN PRESIUNE SE FACE:

1. Cu corpuri solide (prin termocompresiune);
2. Cu lichide;
3. Cu gaze (cu gaze prin presiune; prin laminare; forjare; difuzie)
4. Cu arc electric;
5. Cu energie mecanică (la rece; prin șoc; cu ultrasunete; prin frecare)
6. Prin rezistență (prin conducție; prin inducție).

4. PREGĂTIREA PIESELOR ÎN VEDEREA RECONDIȚIONĂRII LOR PRIN SUDARE

Pentru obținerea unei încărcări de bună calitate sunt necesare următoarele condiții:

- Suprafețele ce urmează să fie sudate sau încărcate, trebuie curățate de rugină, arsuri, lubrifianți și vopsele;
- Marginile pieselor trebuie pregătite corespunzător prin dăltuire, polizare sau prin prelucrare;
- La piesele fisurate sau crăpate se vor executa teșituri pe traseul fisurii în vederea sudării;
- În funcție de solicitările din zona în care se execută sudarea și de forma piesei se aleg electrozii și se pregătesc suprafețele de sudat;
- Osiile și arborii de formă circulară se recondiționează prin sudare, aplicându-se pe locul unde s-a produs ruptura un manșon din țeavă;
- Piesele trebuie încărcate cu material de adaos cu caracteristici mecanice, fizice și chimice cât mai apropiate de cele ale materialului de bază;
- Alegerea celui mai adecvat tip de îmbinare (în V; U; X; Y etc.);
- Stabilirea corectă a parametrilor de lucru, al regimului de sudare, în funcție de caracteristicile cordonului de sudare, zona de întrepătrundere etc.

Productivitatea sudării este direct proporțională cu diametrul electrodului, care trebuie corelat cu grosimea pieselor de sudat.

Diametrele electrozilor și intensitatea curentului în funcție de grosimea piesei sunt date în tabelul 4.1.:

Tabelul 4.1.

Dimensiunea piesei de sudat în mm	2÷3	3÷4	4÷5	6÷7
Diametrul electrodului în mm	3	4	5	6
Intensitatea curentului în A	88÷100	120÷140	160÷180	200÷250

4.1. Tipuri de materiale care se folosesc pentru fabricarea pieselor

-Oţelurile: Datorită caracteristicilor fizico-mecanice ridicate, a stabilităţii acestora la temperaturi largi, cât şi a altor proprietăţi fizice, chimice, electrice, magnetice etc., oţelurile de diferite calităţi îşi găsesc o utilizare în continuă creştere în domeniul mecanic, al construcțiilor sudate, ocupând locul întâi, chiar înaintea metalelor neferoase. Oţelurile, sub toate formele – turnate, laminate, trase, forjate – se folosesc în măsură diferită în construcţia de aparate în funcţie şi de gradul de aliere (nealiate, aliate sau înalt aliate).

Astfel, în mecanică sunt utilizate următoarele categorii de oţeluri:

- oţeluri cu destinaţie specială,
- oţeluri pentru prelucrări prin deformare plastic la cald şi la rece,
- oţeluri pentru scopuri electrotehnice,
- oţeluri pentru arcuri,
- oţeluri inoxidabile şi refractare.

Oţelurile cu destinaţie specială:

În această categorie intră:

- oţelurile carbon de calitate şi aliate pentru piese tratate termic şi termochimic,
- oţelurile pentru organe de asamblare,
- oţelurile rapide,
- oţelurile pentru rulmenţi,
- oţelurile de uz general,
- oţelurile carbon şi aliate pentru turnare în piese.

În general, oţelurile carbon de calitate şi aliate pentru piese tratate termic şi termochimic se folosesc la realizarea de piese supuse unor solicitări moderate. Prin tratamente termice şi termochimice creşte capacitatea oţelului de a prelua solicitări mari [5].

Limitele uzuale ale conţinuturilor diferitelor elemente chimice în mărcile de oţel determină, la nivelul tehnologiilor siderurgice actuale, o plajă a curbelor de călibilitate foarte largă, care nu este în măsură să satisfacă numeroase cerinţe privind omogenitatea caracteristicilor pieselor rezultate. În acest caz, fie sunt aplicate pieselor diverse tratamente în câmp vibrator, în câmp magnetic, fie se îngustează banda de călibilitate. Banda de călibilitate mai îngustă implică limite de compoziţie chimică şi granulaţie foarte strânse, care sunt neeconomice [8].

Prin aplicarea tratamentelor adiacente, cum ar fi cele în câmp vibrator, se pot obţine caracteristici mecanice care pot fi repetabile, deci pot fi garantate; în schimb banda de călire nu suferă modificări.

Proprietăţile de rezistenţă şi tenacitate ale oţelurilor pentru piesele tratate termic sunt influenţate în mare măsură, pe lângă călibilitate şi de parametrii tratamentului termic aplicat.

Principalele mărci de oţel carbon de calitate şi aliate pentru piese tratate termic şi termochimic sunt: CC 10, CC 20, CC 35, CC 45, XC 55, 34 CD 4 și 30 CND 8 [8]. Tratamentul termochimic care se aplică acestor oţeluri este cementarea, nitrurarea şi carbonitrurarea. Procesul de introducere a unor cantităţi de atomi în straturile superficiale ale unor corpuri solide este denumit cementare.

Tratamentele termochimice pot fi denumite cementări cu carbon, crom, siliciu, aluminiu etc. Cementarea cu carbon se mai numeşte şi carburare, ea se realizează la temperaturi cuprinse între 870–930^{o}C în prezenţa unor atomi activi de carbon. După carburare se aplică tratamente termice de călire şi revenire joasă [6].

Nitrurarea este tratamentul termochimic, care constă în încălzirea pieselor la temperaturi cuprinse între 350–600^{o}C în medii capabile să cedeze azot atomic, obţinând o duritate superficială foarte ridicată. Un nou procedeu care se poate combina foarte bine cu suprapunerea de câmp vibrator este nitrurarea în plasmă denumită şi nitrurare ionică. Nitrurarea ionică se bazează pe principiul descărcării în gaze, respectiv pe starea de plasmă în care se ajunge în anumite condiţii de tensiune şi presiune [6]. În cazul introducerii în cuva cuptorului a amoniacului disociat, sub acţiunea câmpului electric, electronii sunt accelerați spre peretele cuvei (anod) şi ionii pozitivi de azot în direcţia piesei. Prin această bombardare cu ioni de azot, o parte a azotului din gaz pătrunde în suprafaţa piesei [8].

Carbonitrurarea urmăreşte să îmbine efectele carburării cu cele ale nitrurării, ea se realizează la o temperatură cuprinsă între 550 – 880^{o}C cu scopul creşterii durităţii, rezistenţei la uzare, oboseală, presiune de contact [8].

După criteriul temperaturii la care se desfăşoară se disting: carbonitrurare la temperaturi înalte (800–880^{o}C), carbonitrurare la temperaturi medii (700–710^{o}C) şi carbonitrurare la temperaturi joase 550–570^{o}C) [6].

Oţeluri pentru organe de asamblare sunt piese caracterizate, din punct de vedere al configuraţiei geometrice, prin existenţa unui concentrator puternic care este filetul [8]. Ca urmare, oţelurile folosite trebuie să prezinte o sensibilitate minimă la efectul de concentrare, în condiţiile unei rezistenţe mecanice corespunzătoare [8]. O largă răspândire au căpătat în acest domeniu oţelurile aliate cu mangan şi bor care se folosesc pentru şuruburi cu performanţe de rezistenţă medii.

Oţelurile pentru organe de asamblare sunt împărţite în oţeluri care lucrează la temperatura mediului ambient, la temperaturi joase şi respectiv la temperaturi ridicate [8].

Principalele mărci de oţeluri pentru organe de asamblare destinate să lucreze la temperatura ambiantă sunt: CC 35, 38 CD 4, 28CDV 5.08. Creşterea rezistenţei la oboseală a acestui tip de organ de asamblare se realizează prin aplicarea unor tehnologii de fabricaţie adecvate, cum ar fi rularea filetelor. În cazul organelor de asamblare tratate termic se recomandă ca, după călire, structura în miezul părţii filetate să conţină aproximativ 90% martensită [8]. Principalele domenii de utilizare ale acestor mărci şi produse livrate sunt:

- Organe de asamblare care lucrează la solicitări mari în domeniul de temperaturi de –30°÷+420^{o}C, fiind livrate sub formă de: profiluri laminate la cald, semifabricate pentru foraje etc;
- Organe de asamblare puternic solicitate lucrând la temperaturi joase (–100^{o}C), având forma de livrare: produse tubulare, produse plate laminate la cald.

Oţelurile rapide – sunt oţeluri destinate prelucrărilor prin aşchiere cu viteze ridicate de unde şi denumirea de rapide. Din punct de vedere al compoziţiei chimice, oţelurile rapide pot fi clasificate în: oţeluri cu conţinut ridicat de Wolfram, oţeluri cu Wolfram şi Molibden, oţeluri cu Wolfram şi

Cobalt, oţeluri cu conţinut de Wolfram, Cobalt şi Molibden şi oţeluri cu conţinut ridicat de Vanadiu, peste 2% [7]. Cromul în aceste oţeluri participă aproximativ în aceeaşi pondere. Pentru a rezista la solicitările complexe la care sunt supuse în timpul prelucrărilor prin aşchiere, îndeosebi la viteze mari de aşchiere şi materiale de prelucrare cu duritate ridicată, oţelurile rapide trebuie să posede o seamă de proprietăţi specifice prelucrărilor prin aşchiere.

Principalele mărci de oţeluri rapide sunt: Z120WDV06, Z150WKV12, Z80WCV18.04.01., Z85DCWV08.04.02.02 [8].

Oţeluri pentru rulmenţi –caracteristica de bază a acestora este duritatea după tratamentul termic, de aceea compoziţia chimică are un rol important. Asupra durităţii o influenţă deosebită o are temperatura de austenitizare şi temperatura de revenire [7].

Principalele lor domenii de utilizare sunt:

- Fabricarea rulmenţilor şi a sculelor, precum: filiere, alezoare, broşe, calibre de filet, supape, instrumente de măsură;
- Fabricarea rulmenţilor de dimensiuni mai mari şi speciali;
- Rulmenţi care lucrează în mediu coroziv.

Oţelurile de uz general – sunt folosite în mod curent, sub formă de produse finite, deoarece prezintă proprietăţi tehnologice şi de utilizare satisfăcătoare pentru marea majoritate a cazurilor şi în plus sunt cele mai economice [8].

Principalele mărci de oţeluri de uz general care sunt folosite pentru piese sunt: A 34-1, A 24-1, A 50-2, A 60-2, A 70-2 [8].

Oţeluri carbon şi aliate pentru turnare în piese – sunt oţeluri care se utilizează la turnarea pieselor din mecanică. Acestea se pot găsi sub forma: oţeluri slab aliate şi aliate turnate în piese, oţel austenitic manganos turnat în

piese, oţeluri turnate în piese pentru armături şi oţel carbon slab aliat şi mediu aliat rezistent la temperaturi ridicate turnat în piese. [8] Oţelurile turnate în piese sunt supuse unui tratament termic de îmbunătăţire, iar ca tratament termochimic care se poate aplica este cementarea.

Oţeluri pentru prelucrări prin deformare plastică la cald şi la rece. Oţelurile pentru prelucrare prin deformare plastic la cald şi la rece, utilizate în mecanică sunt clasificate astfel: oţeluri carbon obişnuit, oţeluri carbon de calitate, oţeluri aliate, oţeluri rezistente la coroziune şi refractare [8].

Oţelurile carbon obişnuit destinate prelucrărilor prin deformare plastic– sunt caracterizate printr-o plasticitate ridicată. Acestea au un conţinut de carbon cuprins între 0,06 şi 0,26 %C, ceea ce îi conferă o gamă largă de aliere cu alte elemente care să-i asigure o plasticitate ridicată. Aceste oţeluri pot fi folosite pentru deformări plastice la cald şi la rece, putând fi deformate direct în matriţă sau laminate.

Oţeluri rezistente la coroziune şi refractare sunt oţeluri pentru piese care lucrează în medii corozive.

Domeniile de utilizare recomandate pentru aceste oțeluri sunt:

- Pentru piese cărora li se cere în primul rând rezistenţă la atmosfera corozivă: axe, piese de antrenare, bucşe, piese de fricţiune pentru ambreiaje, şuruburi conducătoare, flanşe, piese pentru angrenaje melcate, pinioane, piese pentru distribuitoare şi piese de reţinere în transmisiile şi aparatele în contact cu medii agresive.
- Pentru piese magnetice supuse la solicitări mijlocii, executate prin sudare şi presare, lucrând în condiţii grele de temperatură 600-700 ^{o}C în medii agresive: supape, clapete, distribuitoare şi conducte speciale, axe, roţi dinţate.

Oţelurile pentru arcuri: Alegerea unui oţel pentru realizarea unui arc este rezultatul unui compromis între o multitudine de factori. Se apreciază că în general operaţia de alegere parcurge următoarele etape [8]:

- stabilirea tipului de arc, ţinând seama de condiţiile de serviciu în utilaj;
- stabilirea tehnologiei de execuţie a arcului;
- alegerea tipului de produs metalurgic folosit ca semifabricat;
- stabilirea nivelului tensiunilor maxime în material;
- predimensionarea arcului în soluţia constructivă aleasă;
- alegerea mărcii de oţel;
- dimensionarea definitivă a arcului şi stabilirea condiţiilor tehnice pentru material şi procesul tehnologic de execuţie [8].

Oţelurile inoxidabile şi refractare

Rezistenţa la coroziune a oţelurilor inoxidabile se datorează, în principal, prezenţei cromului. În general sunt denumite oţeluri inoxidabile şi refractare cele care au în compoziţia chimică peste 11% Cr şi ca urmare prezintă într-o măsură mai mare sau mai mica rezistenţa la coroziune în diferite medii solide, lichide sau gazoase [8].

Acţiunea cromului se manifestă prin formarea la suprafaţa metalului a unui strat extreme de subţire de oxid aderent care protejează metalul de atacul agenţilor chimici.

Cromul şi nichelul constituie cele două elemente principale de aliere a oţelurilor inoxidabile şi refractare. Adăugarea altor elemente de aliere ameliorează: rezistenţa la coroziune în medii umede, molibdenul şi cuprul; rezistenţa la oxidare la temperaturi înalte, siliciul, aluminiul, wolframul şi molibdenul; caracteristicile mecanice la temperaturi ridicate şi joase, wolframul, molibdenul, niobiul şi cobaltul; proprietăţi de aşchiabilitate, sulful şi seleniul [8].

Structura oţelurilor inoxidabile şi refractare este determinată de elementele de aliere, astfel, cromul, molibdenul, wolframul, titanul, niobiul, siliciu şi aluminiu acţionează pentru formarea feritei şi sunt alfa-gene, iar nichelul, carbonul, azotul, manganul, cuprul şi cobaltul, acţionează pentru formarea austenitei şi sunt gama-gene [8]. Oţelurile inoxidabile se pot clasifica în funcţie de constituentul structural preponderent în: oţeluri feritice; oţeluri martensitice; oţeluri ferito-austenitice; oţeluri austenitice.

Materiale neferoase utilizate pentru piese:

- *Cuprul și aliajele lui:*

Cuprul prezintă numeroase inconveniente cum ar fi: recoaceri repetate, turnare mediocră, slabă prelucrare prin aşchiere şi de aceea ca metal nu se utilizează decât la fabricarea conductorilor electrici. Cuprul are o largă utilizare sub formă de aliaje din care principalele sunt alamele şi bronzurile. Alamele sunt aliaje ale cuprului cu zincul. Alamele se împart în două grupe principale: alame curente, obişnuite şi alame speciale aliate. Alamele au o largă întrebuinţare la fabricarea produselor laminate, trefilate, forjate şi turnate.

Bronzurile sunt aliaje ale cuprului cu staniul, ele se împart în două grupe: bronzuri curente şi bronzuri speciale. Bronzurile au o întrebuinţare foarte largă: la fabricarea pieselor de frecare, cuzineţi, se utilizează bronzurile ce au în structură faza α şi faza δ; la fabricarea angrenajelor; la fabricarea clopotelor; la fabricarea monedelor şi medaliilor; la bijuterii [8].

- *Aluminiul și aliajele lui:*

Aluminiul are numeroase întrebuinţări datorită bunei sale conductivităţi electrice, a rezistenţei la coroziune şi oxidare. La temperatura ambiantă pot fi obţinute trei stări structurale:

- starea durificată, realizată fie prin îmbătrânirea naturala fie prin îmbătrânirea artificială;
- starea de coalescenţă, obţinută prin revenire la temperaturi mai mari de 200^0C, aceasta este starea cea mai favorabilă deformărilor importante;
- starea omogen călită, favorabilă prelucrării la rece.

Aliaje aluminiu-cupru

Principalele aliaje pe bază de aluminiu-cupru folosite pretind un tratament termic corespunzător durificării structurale. Aliajele călite şi revenite au caracteristici mecanice bune şi de aceea se utilizează la fabricarea pistoanelor şi cuzineţilor.

Aliajele aluminiu-siliciu

Aliajele de aluminiu-siliciu au o largă întrebuinţare la fabricarea blocurilor motor, chiulase şi poartă denumirea de siluminiu.

5. PROCEDEE DE RECONDIȚIONARE PRIN SUDARE ȘI ÎNCĂRCARE A PIESELOR PRIN TOPIRE

5.1. Procedee de recondiționare prin sudare și încărcare a pieselor prin topire cu arc electric

Sudarea și încărcarea cu **arc electric descoperit cu electrod de cărbune sau metalic** sunt procedeele cele mai răspândite. Arcul electric topește maginile pieselor pe care se depune metal din care se formează baia de sudare, la care se adaugă metalul topit din electrod. Sudarea cu electrod de metal poate fi realizată manual, semiautomat sau automat.

O bună sudabilitate se realizează la piesele din oțeluri nealiate sau slab aliate care au un conținut de carbon sub 2%. Metalele și aliajele neferoase (aluminiul, cuprul și aliajele lor) sunt mai greu sudabile cu arc electric descoperit. Se recomandă sudarea lor în mediu de gaz inert (argon Ar, heliu He sau amestecuri cu diverse proprietăți).

Recondiționarea prin sudare electrică cu arc deschis a pieselor din fontă. Se poate realiza la rece prin încălzirea locală și încălzire generală. La recondiționarea pieselor din fontă se va ține seama că sunt casante și greu sudabile. Piesele din fontă albă nu se sudează, ci se lipesc sau se metalizează.

Recondiționarea la cald a fontelor. Presupune preîncălzirea piesei la o temperatură de 923÷1023°K și apoi topirea prin arc electric, în rostul îmbinării a unei vergele din fontă cenușie. După sudare piesa se va răci lent.

Recondiționarea la rece a fontelor. Este un procedeu foarte utilizat datorită simplității sale tehnologice. Ca material de adaos se utilizează electrozii MONEL sau vergele din oțel cu înveliș bazic. La sudarea la rece a

fontelor e necesar ca sudările să se facă cu curenți reduși I=100÷110A, pentru diametre de electrozi de 3,25 mm.

Recondiționarea prin sudare electrică cu arc deschis a pieselor din oțel este frecvent întâlnită întrucât piesele din oțel ocupă un volum important. Piesele din oțel cu sudabilitate bună sunt cele cu Ce≤0,25%, cu sudabilitate satisfăcătoare Ce≤0,35%, cu sudabilitate limitată Ce≤0,45%, și cu sudabilitate rea Ce>0,45%, în care Ce reprezintă conținutul de carbon echivalent. Pentru piese cu sudabilitate rea, la care pot apărea defecte ca: fisuri, incluziuni de zgură, pori etc. se va aplica o preîncălzire a acestora. Sudarea se va executa cu intensitate minimă, în straturi multiple, cu răcire între două straturi, însă nu mai puțin de 473°K. Tehnologia de recondiționare a pieselor din oțel este următoarea:

- Pregătirea piesei pentru încărcare care constă din îndepărtarea oxizilor și a impurităților de pe suprafețele ce trebuie încărcate;
- Uscarea electrozilor, timp de două ore la temperatura de 523÷735^{0}K.
- Preîncălzirea piesei la 675°K;
- Depunerea materialului de adaos, folosindu-se electrozi cu diametrul de 4mm, curentul de sudare I_s=140÷170A, tensiunea arcului U_a=23÷24V, viteza de depunere V_d=1,1÷1,4cm/min., temperatura piesei între două depuneri consecutive este de 523÷573°K;
    - răcirea lentă a piesei în nisip;
    - controlul vizual sau cu lichide penetrante al piesei;
    - rectificarea suprafețelor încărcate.

Recondiționarea prin sudare electrică cu arc descoperit a pieselor din aluminiu și a aliajelor sale, este mai dificilă, deoarece la temperaturile înalte ale arcului, se produc dilatări și deformații mari, oxizi, pori și incluziuni în

cusătură. Cauza formării porilor în cusăturile sudate din aluminiu se datorește hidrogenului. Pentru înlăturarea porilor, trebuie capiesele să fie bine curățate de oxizi și grăsimi. Sudarea pieselor din aluminiu este îngreunată de fenomenul de fisurare, care este provocată de conținutul de siliciu, până la 0,6%Si. Prezența fierului 0,7% Fe sau a manganului între 5÷6% Mn, conduce la creșterea rezistenței la fisurare.

La sudarea aliajelor de aluminiu cu arc deschis este necesară respectarea riguroasă a următoarelor condiții tehnologice: preîncălzirea pieselor la 420÷670K; uscarea electrozilor speciali din sârmă de aluminiu la 470÷520K; utilizarea curentului continuu cu polaritate inversă; tablele cu grosimea ≤6mm se vor suda cu rost în I pe o garnitură de cupru sau oțel prevăzute cu un canal longitudinal sub rost; alegerea rațională a regimului de sudare.

Piesele din aluminiu turnat cu magneziu sau siliciu se sudează ușor cu arc electric. Dintre piesele din aluminiu și aliajele lui, supuse recondiționării, se menționează: chiulasele, blocurile motor, carcasele cutiilor de viteze, capacele etc.

Recondiționarea prin sudare electrică cu arc deschis a pieselor din cupru și aliajelor sale se execută în curent continuu cu polaritate inversă. La piese cu grosimi de 4mm, îmbinarea prin sudare se execută fără teșirea marginilor iar la grosimi de 5÷10mm este necesară teșirea marginilor și preîncălzirea $523 \div 573^0$K. Sudarea se face cu electrozi cu înveliș gros din sârmă de cupru de 4÷6mm, folosindu-se un arc scurt. Curentul de sudare $I_s=50 \div 60$ d_e unde d_e este diametrul electrodului.

La sudarea manuală cu arc electric, cu electrozi înveliți este afectată în special conductivitatea cordonului

La îmbinarea prin sudare a cuprului și aliajelor sale apar o serie de greutăți din cauza:

- Oxidării ușoare la temperaturi ridicate și mai ales în stare lichidă. În vederea micșorării tendinței de oxidare se impune o reducere severă a oxigenului 0,01÷0,03% și utilizarea unor elemente cu mare afinitate față de oxigen (Mn și Si) sau utilizarea unor fluxuri pe bază de bor;
- Conductivității ridicate fapt ce necesită surse de sudare cu mare concentrare de căldură, însă încălzirea excesivă provoacă creșterea granulației și creșterea plasticității ceea ce necesită un tratament mecanic prin ciocănire la temperaturi cuprinse între 823 și 1073°K.
- Apariția oxidului greu fuzibil Al_2O_3 la sudarea bronzurilor de aluminiu. Pentru combaterea acestuia se recomandă utilizarea fluxurilor dezoxidante pe bază de floruri, cloruri și substanțe alcalino-pământoase.
- Pericolului evaporizării zincului la sudarea alamelor, a cărui temperatură de fierbere este de 1180^0 K, când se formează un nor de oxid de zinc nociv, care impune luarea unor măsuri suplimentare de ventilație. În acest caz, sudarea se execută cu viteză mare, în urma unei preîncălziri la 473÷573°K.

Pentru recondiționarea prin încărcare prin sudare a pieselor din cupru și a aliajelor sale ca: lagăre, bucșe, roți melcate, ventile, carcase, elice navale etc., sunt menționați electrozii folosiți în acest scop, în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1.

Nr. crt.	**Marca**	**R_m** MPa	**A_s** %/min	**Duritatea**	**Indicații de utilizare**
1	E-Cu 9	155	28	Min. 50 HV	Încărcarea la cald a pieselor masive din cupru și a aliajelor cuprului. Îmbinări sudate eterogene, oțel-bronzuri, oțel-fontă etc.
2	E-Bz 6	150	10	Min. 70 HB	Încărcarea la cald a pieselor din bronzuri de staniu și a alamelor solicitate la uzare metal pe metal și la coroziune chimică (ex. roți dințate, lagăre, bucșe, șuruburi melcate, ventile etc.)
3	E-Bz 8 Al	340	20	Min. 100 HB	Încărcarea pieselor din bronzuri de aluminiu ca: lagăre, carcase, bucșe, elice navale etc.
4	E-CuNi Al	550	6	Min. 170 HB	Încărcarea pieselor din aliaj CuNiAl de mari dimensiuni (elice navale). Diametrul vergelei electrozilor este de: 1,8 mm.

5.2. Încărcarea prin sudare electrică sub strat de flux

Încărcarea prin sudare electrică sub strat de flux se caracterizează prin următoarele particularități:

- Arcul electric este acoperit de un material fuzibil granular, denumit **flux pentru sudare**, având compoziție chimică asemănătoare cu cea a învelișului electrozilor folosiți la sudarea manuală cu arc. Fluxurile se livrează în 3 sorturi, având mărimea granulelor de 0,3÷1,5mm pentru sortul 1; de 0,3÷2,5mm pentru sortul 2 și de 1,5÷2,5mm pentru sortul 3.
- Electrodul este continuu,fiind practic o sârmă electrod înfășurată sub formă de colac,care este pusă în mișcarea de avans de către un mecanism cu role.
- Deplasarea relativă a arcului față de piesele de sudat se realizează automat și uneori manual, astfel că sudarea se poate executa automat, folosindu-se în acest scop un cap de sudare automată sub strat de flux.
- Nu se utilizeaza miscari de pendulare a arcului. Înclinarea electrodului și a piesei de încărcat influentează forma secțiunii cusaturii (depunerii). La sudarea cu electrodul înclinat înainte, metalul topit este suflat înainte de sudare, ce are ca urmare descresterea adâncimii de pătrundere și cresterea lățimii cusăturii ($\alpha>90^0$). La înclinarea înapoi a electrodului, arcul topește mai adânc, adâncimea de pătrundere crește ($\alpha<90^0$).

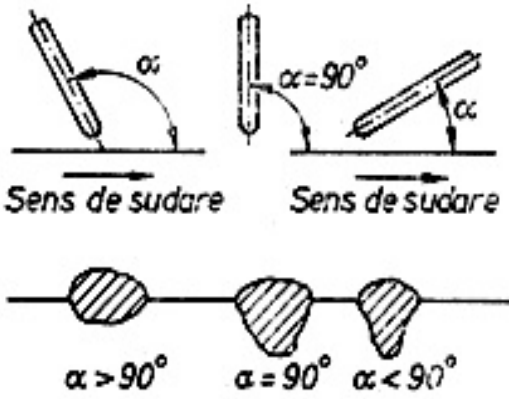


Fig. 5.1. *Influența încărcării electrodului asupra formei depunerii*

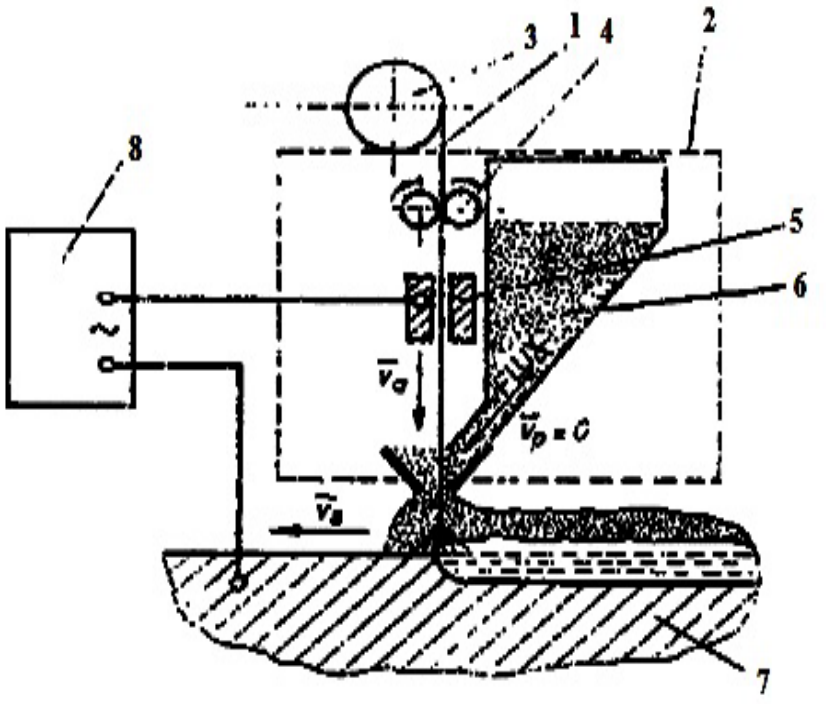


Fig. 5.2. *Principiul de lucru la sudarea sub strat de flux*:
1 – sârma electrod; 2 – corpul de sudare sub flux; 3 – caseta sârmei electrod; 4 – role pentru realizarea mișcării de avans având viteza V_a; 5 – bucșa de contact electric; 6 – rezervor cu flux; 7 – metalul de bază; 8 – sursă de curent pentru sudare

Creșterea curentului mediu de sudare I_s, la un diametru d_e, al sârmei electrod, produce mărirea ratei depunerii A_D. Dacă însă se depășește limita maximă I_U, atunci apar dislocări locale. Scăderea lui I_s sub limita minimă I_{sL}, face ca arcul sa-și piarda stabilitatea și, ca urmare, se produc întreruperi sau scurtcircuite prin netopirea sarmei și pătrunderea ei în baia de sudare (vezi tabelul).

Dacă se sudează cu viteză mare și este necesar să se obțină și pătrunderea adâncă se va folosi $(cc)^+$. Când se urmărește umplerea rapidă a rostului se va folosi $(cc)^-$, cum este cazul încărcării prin sudare. Rata depunerii A_D este cu 50% mai mare la(cc) $^-$ decât la $(cc)^+$. Tensiunea utilizată la încărcare

trebuie să aiba valoare cât mai ridicată la sudarea cu flux aliat pentru facilitarea trecerii elementelor în stratul depus, iar la folosirea de sârmă aliată și fluxuri nealiate tensiunea trebuie să fie mică ca să nu aibă elementele de aliere din sârmă.

Viteza de topire a sârmei electrod v_e este dependentă de mărimea curentului de sudare I_s.

Viteza de sudare v_s (de deplasare a tractorului de sudare, în cazul încărcării pieselor longitudinale sau de rotire a pieselor cu suprafețe de rotație) nu trebuie să depășească anumite limite deoarece pot să apară zone netopite.

Un domeniu important de aplicare a procedeului de sudare sub strat de flux îl constituie recondiționarea prin încărcare a pieselor cu suprafețe de revoluție. Capul de sudare se așează înaintea verticalei la o distanță h, care depinde de diametrul D al cercului pe care se încarcă. În acest fel, se evită scurgerea băii de sudare sau forma necorespunzătoare a încărcării.

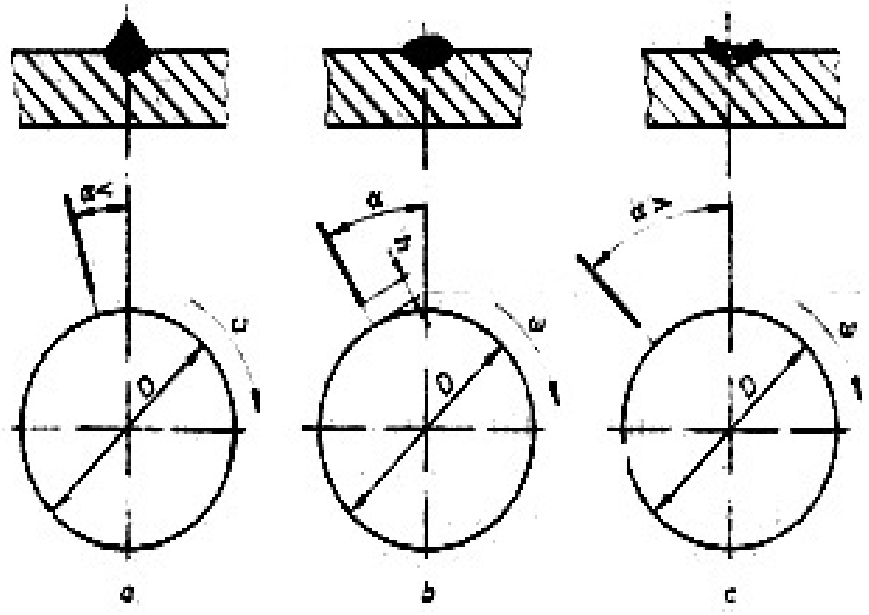


Fig.5.3. *Poziții de asezare a capului de sudare la sudarea sub strat de flux a pieselor cu suprafețe de revoluție*

a – α prea mic, b – α normal, c – α prea mare

Curenții de sudare medii I_s, minimi I_{sL} și maximi I_{sU}, în funcție de diametrul sârmei d_e sunt prezentați în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2.

d_e (mm)	I_{sL} (A)	I_S (A)	I_{sU} (A)
2,0	200	400	600
2,4	230	465	700
3,2	300	600	900
4,0	420	710	1000
4,8	480	790	1100
5,6	600	900	1200
6,3	700	1150	1600
8,0	1000	1750	2500
9,6	1500	2750	4000

La procesul de recondiționare a pieselor prin încărcare sub strat de flux pot apărea unele defecțiuni ce se înlătură astfel:

- Geometria depunerii este influențată de înclinația pieselor față de planul orizontal, deoarece baia de sudare are un volum mai mare decât la sudarea electrică și deci scurgerea ei începe la denivelări mici;
- Depunerile fără străpungerea piesei se obțin când viteza de sudare este bine corelată cu curentul de sudare. Când viteza de sudare este prea mare față de curent se produce lipsa de topire a metalului de bază, care slăbește legătura cordonului cu piesa care se încarcă. Dacă însă viteza este prea mică, baia de sudare se extinde, rezultând stropiri și incluziuni de zgură în cordon;
- Cordonul de metal depus poate fi strâmt sau cu denivelări, când înălțimea stratului de flux și praful de flux sunt prea mari;

- Apariția fisurilor în cordonul depus sau în zona influențată termic se remediază prin folosirea de cc^- intensitatea de curent de sudare scăzută, tensiunea și viteza de sudare mici;
- Apariția fisurilor pe suprafața încărcată se elimină folosind cc^-, curentul de sudare și tensiunea de mers în gol scăzute odată cu mărirea vitezei de sudare.

Fluxurile utilizate la sudarea sau încărcarea sub strat de flux pot fi topite sau ceramice. Fluxurile topite acide se folosesc la oțeluri slab aliate și permit folosirea curenților mari, obținându-se cusături cu aspect frumos.

Fluxurile ceramice, sub formă de granule, trebuie sortate prin cernere. Aceste fluxuri conțin o serie de feroaliaje, de aceea, ele se recomandă pentru încărcarea pieselor uzate (arbori, tambure de frână, role și roți de ghidaj, lame de buldozere etc.).

Avantajele încărcării prin sudare sub strat de flux:

- Coordonatele de sudare au proprietăți fizico-mecanice superioare, deoarece stratul de flux este solid, granulat;
- Asigură o protecție bună împotriva oxidării și absorbției azotului (plasticitatea metalului depus este foarte bună);
- Productivitatea procedeului este ridicată, datorită vitezei mari de sudare (sub 80 m/h) și capacității mari de topire (peste 4kg/h);
- La sudarea automată calitatea sudării este uniformă și nu depinde de calificarea operatorului, spre deosebire de sudarea semiautomată, unde sudorul trebuie să dirijeze manual capul de sudare pe linia de sudat;
- Pierderile prin stropire sunt foarte reduse (1÷3%);
- Radiațiile arcului nu sunt vizibile, deci nu se impun măsuri de protecție specială a ochilor operatorului, cantitatea de fum este mică.

Dezavantajele procedeului constă în:

- Aplicarea sa eficientă numai la încărcări drepte și circulare;
- Nu se poate suda la poziție;
- Nu pot fi încărcate piese de tip arbore cu diametre sub 40mm și cu lugimi mari deoarece încălzirea puternică provoacă încovoierea lor;
- Pe stratul depus rămâne zgură care trebuie îndepărtată, ceea ce implică cheltuieli suplimentare și reduce eficiența încărcării în mai multe treceri.

La încărcarea prin sudare sub strat de flux regimul de lucru se alege în funcție de caracteristicile piesei (calitatea metalului de bază, dimensiuni, încărcare longitudinală sau circulară etc.), precum și de cele ale materialului de adaos.

Recondiționarea prin sudare și încărcare sub strat de flux a pieselor din aluminiu și aliajelor sale constă în sudarea cu arc electric, folosindu-se un flux special pentru protecție. Fluxul asigură o bună protecție a băii metalice în special la formarea peliculei de oxid. Parametrii regimului de sudare sunt cuprinși în limitele: densitatea de curent 100÷150 A/mm^2, tensiunea arcului 27÷45 V, diametrul electrodului 1÷2mm, viteza de sudare 10÷25 m/h.

Recondiționarea prin sudare și încărcare sub strat de flux a pieselor din cupru și aliajelor sale, în comparație cu sudarea cu arc electric deschis, prezintă următoarele avantaje:

- Sudarea se execută fără preîncălzire;
- Pierderile de căldură sunt reduse.

Sudarea se execută în cc cu polaritate inversă cu electrozi din cupru sau bronz, folosindu-se fluxuri silico-manganoase. Parametrii regimului de sudare se aleg în limitele: I_s = 500÷1500A, tensiunea arcului 40÷50V, viteza de sudare 8÷40 m/h, în funcție de grosimea metalului de bază.

5.3. Sudarea și încărcarea cu arc electric în mediu de bioxid de carbon (MAG)

Este un procedeu cunoscut și sub denumirea de procedeul MAG (Metal Activ Gaz). Arcul electric cu acțiune directă, produs între sârma 1 și metalul de bază 2, este protejat de către bioxidul de carbon care iese prin ajutajul 3. Sudarea se execută în curent continuu cu polaritate inversă.

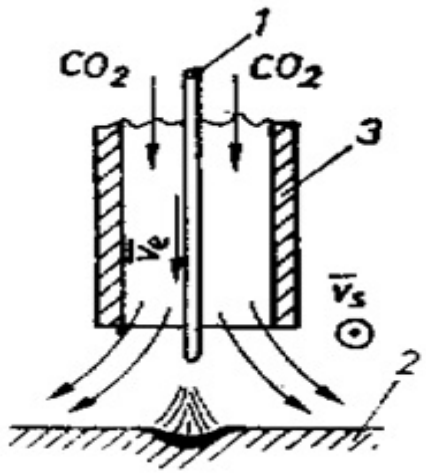


Fig.5.4. *Schema sudării cu arc electric în mediu CO_2*

Procedeul MAG prezintă următoarele **avantaje:**

- Putere ridicată de topire, datorită folosirii unor densități mari de curent (200÷230 A/mm^2);

  Productivitate ridicată de 3...4 ori superioară încărcării manuale, ca urmare a cantității mari de metal depus (3÷4kg/h) și prin reducerea timpilor auxiliari pentrucurățarea zgurei, comparativ cu sudarea manuală [2];
- Deformații reduse după sudare;
- Zona influențată termic este mai mică și deci calitatea cordonului de sudare sau a stratului de metal depus este superioară;

- Sensibilitate mică față de oxizii sub formă de rugină.

Ca **dezavantaje** ale acestui procedeu se menționează:

- Pierderi de metal de adaos prin stropi de 7÷8% ;
- Arderea în proporție ridicată a elementelor de aliere din sârma-electrod.
- Transferul de metal de adaos prin coloana arcului se poate face în trei moduri:
  1. în regim de scurtcircuit (în arc scurt);
  2. în regim de pulverizare (transfer fin);
  3. în regim modulat.

a. **Transferul în regim de scurtcircuit** are loc în cazul când arcul este menținut mai scurt, în game de tensiune cuprinsă între 14 și 20 V și când picăturile de metal topit ce se formează la capătul electrodului ajung să vină în contact cu baia de metal topit [2]. În acest moment se produce un scurcircuit și intensitatea curentului de sudare crește rapid provocând apariția fenomenului de ștrangulare și separare a picăturii, ce trece apoi în baia de metal topit. La întreruperea scurtcircuitului se produce reamorsarea arcului, apariția unei noi picături și ciclul se repetă.

b.**Transferul în regim de pulverizare**, se realizează cu un arc de o lungime mai mare care corespunde unei tensiuni de 22÷25 V [2]. În aceste condiții, o picătură de metal ce se formează și crește la extremitatea sârmei-electrod se sprijină pe suprafața de diametru mic, care constituie anodul; în această suprafață energia calorică este foarte concentrată, metalul atingând repede temperatura de topire. Dacă tensiunea în arc și intensitatea au valori relativ mici, picătura crește luând o poziție laterală de-a lungul sârmei.

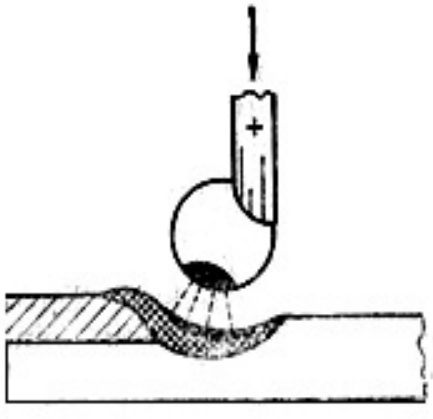


Fig. 5.5. *Poziția picăturii înainte de desprindere în cazul transferului prin pulverizare*

c. **Transferul în regim modulat**, reprezintă o variantă la care metalul topit de la electrod se transferă la baia de sudare prin alternarea celor două moduri de transfer (în regim de scurtcircuit și de pulverizare), în timpul pendulării arcului electric. Alternarea modurilor de transfer pe flancurile rostului pulverizate și în axa cusăturii în arc scurt se face cu un sistem electronic.

Parametrii regimului de lucru la sudarea și încărcarea prin procedeul MAG sunt:

- Sârma electrod;
- intensitatea curentului de sudare,
- tensiunea arcului,
- viteza de sudare,
- lungimea liberă a sârmei-electrod,
- distanța dintre duza de gaz și piesă,
- debitul gazului de protecție,
- polaritatea curentului de sudare [2].

Intensitatea curentului de sudare se alege în funcție de grosimea piesei de sudat sau de încărcat și de poziția în care se realizează. Ea determină puterea de topire și adâncimea de pătrundere, fiind proporțională cu viteza de avans a sârmei-electrod;

Tensiunea arcului U_a este în funcție de intensitatea curentului de sudare I_s , $U_a = 15 + 0{,}05\ I_S(V)$.

Viteza de sudare este limitată de posibilitățile de protecție ale arcului. Pentru viteze mici de sudare cantitatea de metal depus este mare, adâncimea de pătrundere crește, iar în piesele cu pereți subțiri pot apărea perforări. La viteze mari, scade adâncimea de pătrundere, se micșorează lățimea cusăturii, apar crestături și stropiri, iar gazul de protecție rămâne în urma arcului, eficiența protecției fiind redusă.

Lungimea liberă a sârmei-electrod în funcție de intensitatea curentului de sudare (5÷20mm).

Distanța între duza de gaz și piesă e corelată cu necesitatea realizării în bune condiții a protecției arcului electric. Distanțele prea mici conduc la deteriorarea duzei, prin stropii de metal și radiațiile termice din arc.

Debitul gazului de protecție e influențat de forma constructivă a îmbinării.

Polaritatea de sudare poate fi directă și inversă.

Tehnica de lucru influențează calitatea îmbinării, deoarece pistoletul de sudare și respectiv arcul electric este condus manual în lungul îmbinării. Pistoletul se va înclina cu $75 \div 80^0$ față de piesa sudată.

TEHNOLOGIA CADRU DE RECONDIȚIONARE ESTE URMĂTOAREA:

- Pregătirea piesei pentru încărcare, care constă în îndepărtarea oxizilor și impurităților de pe suprafețele ce urmează a fi încărcate;

- Depunerea materialului de adaos pe suprafețele de recondiționat, folosindu-se o sârmă cu diametrul de 1,2mm, I_s = 80±10 A, tensiunea arcului U_a = 25÷27 V, viteza de depunere v_d=27 cm/min;
- Controlul vizual sau cu lichide penetrante a piesei după încărcare;
- Prelucrarea suprafețelor încărcate prin așchiere;
- Tratamentul termic al zonei încărcate prin călire.

5.4. Încărcarea cu arc electric vibrator sau prin vibrocontact

Această metodă constă în depunerea materialului pe piesa de recondiționat de la un electrod vibrator, fenomen care se produce datorită conectării repetate între electrod și piesă, unde se formează un arc electric. Procedeul de încărcare constă din cicluri termice scurte identice, în cadrul cărora se produc conectări și deconectări ale electrodului față de suprafața piesei supuse recondiționării. În cadrul fiecărui ciclu au loc următoarele faze:

– scurtcircuitarea electrodului,

– descărcarea electrică,

– mersul în gol.

Scurtcircuitarea electrodului (conectarea) cu piesa este însoțită de apariția unor impulsuri mari de curent (1100÷1300A). Densitatea mare de curent generează: căldură, topirea locală și sudarea electrodului pe piesă. Prin răcirea rapidă a electrodului, cu masa relativ redusă, se produce ruperea și deci deconectarea de piesă.

Descărcarea electrică are loc ca urmare a deconectării prin care apare un arc electric între electrodul răcit-rupt și prin urmare, topirea materialului depus anterior pe piesă, realizându-se o bună fuziune și aderență cu metalul piesei de recondiționat.

Etapa de mers în gol are loc după îndepărtarea electrodului de piesă, când curentul scade, iar descărcarea electrică se întrerupe și începe un nou ciclu.

Calități superioare de depunere se obțin la vibrarea electrodului prin ultrasunete, deoarece se atenuează solicitarea mecanică a mecanismului de vibrare și șocurile.

Avantajele utilizării procedeului de încărcare prin vibrocontact sunt:

- menținerea compziției chimice și a proprietăților fizico-mecanice ale piesei, ca urmare a intensității de încălzire și a unei zone influențate termic reduse;
- temperatura de încălzire a piesei este de maximum 353÷363K;
- posibilitatea obținerii tuturor tipurilor de structuri de călire a straturilor de adaos prin alegerea corespunzătoare a materialului electrodului;
- depunerile sunt alcătuite din particule fine.

Dezavantajele procedeului sunt:

- apar pori și microfisuri, deoarece baia de metal topit este foarte mică;
- lichidul de răcire produce o răcire a metalului topit, iar stratul următor depus provoacă astfel tensiuni interne și fisuri, metalul depus fiind neomogen, cu pori și de duritate variabilă.

Din aceste considerente procedeul se recomandă pentru piese de dimensiuni mici, care nu sunt supuse unor sarcini dinamice mari.

Procedeul de încărcare cu arc electric vibrator se aplică la: arbori, fusurile rulmenților, arbori cu came, fusuri cementate sau călite prin CIF, arbori cu caneluri.

5.4.1. PROCEDEE DE ÎNCĂRCARE PRIN VIBROCONTACT

Depunerea cu arc electric vibrator poate avea loc sub jetul unui lichid de răcire, în mediu protector (CO_2, vapori de apă etc.), în mediu de curent de aer, în mediu gazolichid și sub strat de flux.

Procedeul de încărcare prin vibrocontact sub jet de lichid de răcire este cel mai utilizat.

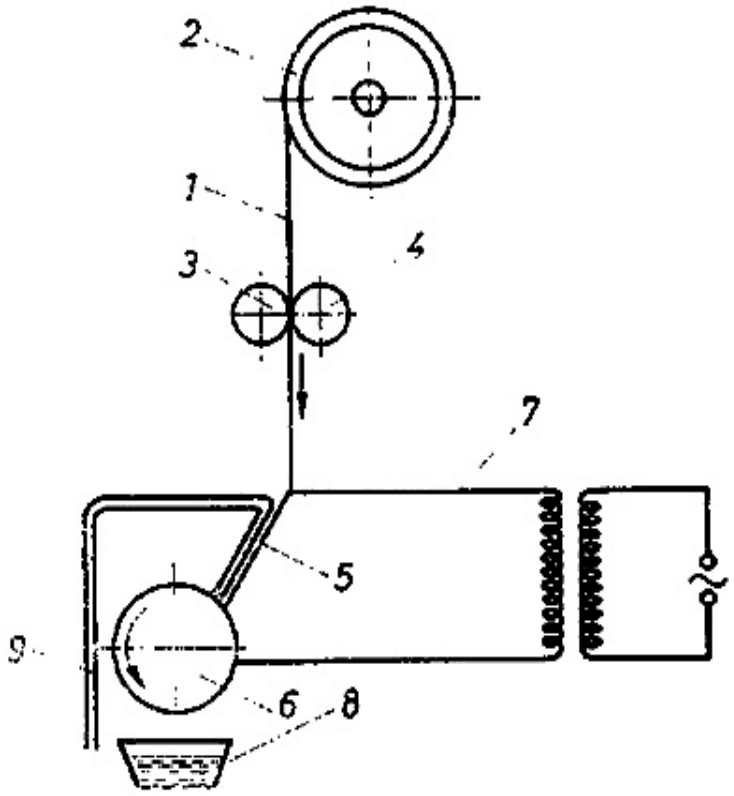


Fig. 5.6. *Schema instalației de depunere cu arc electric vibrator sub jet de lichid de răcire*

1– sârmă-electrod; 2 – tambur pentrusârmă; 3 și 4 – role; 5 – duză calibrată; 6- piesa de recondiționat; 7- pârghie vibratoare

Sârma-electrod 1 de pe tamburul 2 este trasă de rolele 3 și 4 și trimisă prin duza calibrată 5 la piesa 6 ce urmează a fi încărcată. Una din role este motoare, fiind antrenată de un motor electric cu turație variabilă reglabilă. Duza calibrată este prinsă rigid de o pârghie vibratoare 7 care imprimă sârmei o mișcare de vibrație în apropierea punctului de contact cu piesa. În zona

arcului este trimisă o emulsie de răcire pe bază de glicerină tehnică. Emulsia este dirijată spre locul de răcire din rezervorul de egalizare a debitului 8 de către o pompă de debit constant prin conducta 9.

Procedeul de încărcare prin vibrocontact în mediu protector

Acest procedeu constă în combinarea efectului lichidului de răcire și a gazului protector care protejază baia de topire de acțiunea azotului. Prin utilizarea unor parametrii tehnologici optimi se pot obține straturi cu durități de 40 HRC. sau dacă sârma este dintr-un oțel cu conținut scăzut de carbon, cementat și călit la 58÷62 HRC.

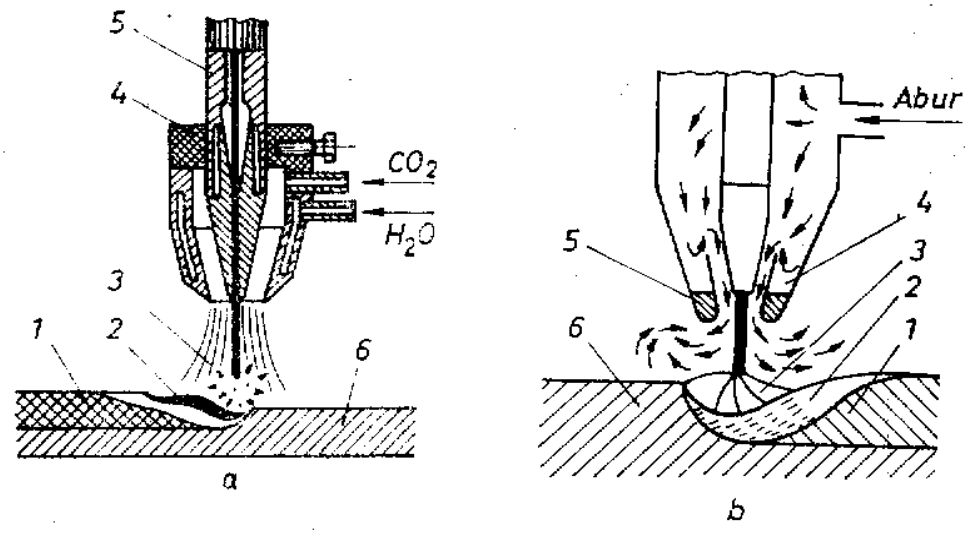


Fig. 5.7. *Sudarea electrică în mediu de gaz protector*

a) CO_2 ; b) abur

Procedeul de încărcare prin vibrocontact în mediu de curent de aer

Asigură atenuarea formări fisurilor și mărirea densității straturilor depuse la grosimi reduse. Se aplică la recondiționarea suprafețelor interioare în piese de fontă ca de exemplu: carcase, butuci de roți etc.

Procedeul de încărcare prin vibrocontact în mediu gaz lichid

Acest procedeu se folosește la recondiționarea arborilor cotiți, axelor cu came și constă în eliminarea aerului atmosferic din zona de sudare cu ajutorul unui curent de oxigen la presiune scăzută. Împreună cu oxigenul se alimentează și o cantitate redusă de apă. Apa se disociază, iar hidrogenul format micșorează efectul oxidant al oxigenului.

Procedeul de încărcare prin vibrocontact sub strat de flux

Procedeul este folosit pentru recondiționarea arborilor cu diametrul sub 20mm care trebuie să aibă durități superioare la grosimi de depuneri mai mari de 0,5÷0,7mm. Fluxul utilizat este de granulație mai fină (0,4÷0,8mm). Parametrii regimului de lucru pentru încărcarea sub strat de flux sunt: d=0,8 ÷1mm, cc și polaritate inversă cu U = 29÷30 V și U_0 = 35÷40 V, v_e=36÷44mm/s; v_s=12÷15m/h.

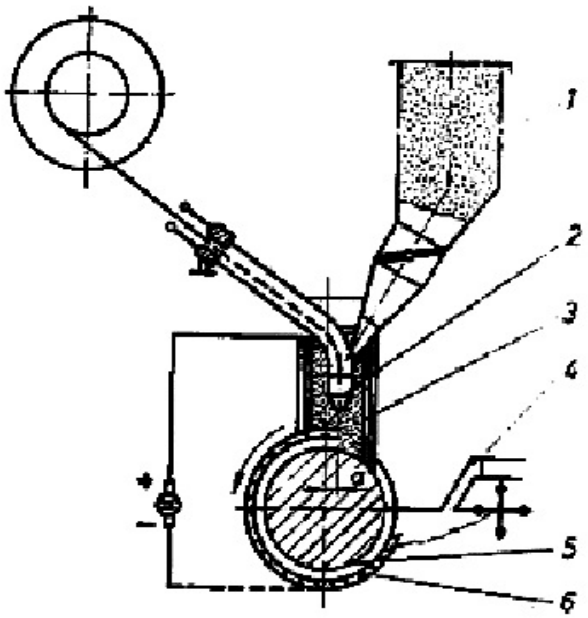


Fig. 5.8. *Schema depunerii prin vibrocontact sub strat de flux*

1–buncăr pentru flux; 2–duză; 3–perii mobile; 4–cuțit pentru îndepărtarea crustei de zgură; 5–stratul de metal depus; 6–crusta de zgură.

5.5. Încărcarea prin sudare electrică în baie de zgură

Reprezintă un procedeu de sudare prin topire în care căldura se obține prin rezistență la trecerea curentului electric printr-o baie de flux topit care acoperă metalul depus. Este un procedeu de sudare prin topire fără arc electric [9].

Pentru începerea procesului de lucru, la partea inferioară a suprafeței de încărcat se așază o piesă de susținere. La conectarea avansului sârmei și a curentului de sudare se formează un arc electric între sârmă și piesa de susținere. Căldura dezvoltată de arcul electric produce topirea fluxului, realizând o baie de zgură fluidă, care înecă arcul electric, iar acesta se stinge. Curentul electric trece în continuare prin baia de zgurătopită și cea de metal. Procesul decurge în continuare, fără arc electric, căldura se dezvoltă prin efect Joule-Lenz, la trecerea curentului prin baia de zgură care prezintă o rezistență electrică mare [9]. Straturile imediate ale suprafeței de încărcat se topesc și împreună cu electrodul topit formează baia metalică.

Electrozii pot fi sub formă de sârme, plăci turnate sau laminate din oțeluri aliate sau aliaje cu proprietăți speciale. Pentru evitarea fisurilor este necesar ca sârmele-electrod să aibă un conținut mai redus de carbon.

Fluxul are un rol deosebit în desfășurarea proceselor metalurgice și de topire. Zgura obținută prin topirea fluxului trebuie să fie bună conducătoare de electricitate, facilitând în primă fază amorsarea arcului electric, iar ulterior stabilitatea procesului de sudare [9].

Parametrii regimului de sudare se vor alege astfel încât să se obțină o îmbinare și o încărcare de bună calitate.

- Intensitatea curentului de sudare este proporțională cu viteza de avans a sârmei. Practic se stabilește o anumită valoare a vitezei de avans, pentru asigurarea unui regim stabil de lucru;
- Tensiunea de sudare este 35÷55 V;

- Densitatea de curent în sârmă electrod se alege la valori 50÷100A/mm^2, conducând la utilizarea unor valori medii ale curenților de sudare de cca. 200÷1000A pentru fiecare sârmă-electrod. [9]

Încărcarea suprafețelor plane se face prin poziționarea verticală a acestora și prin delimitarea băii de zgură și de metalul topit cu ajutorul unor patine de cupru 3 cu forma corespunzătoare suprafeței de încărcat 1. La încărcarea suprafetelor plane, patinele delimitează trei fețe. Patinele sunt presate cu un dispozitiv special și se deplasează concomitent cu baia de metal depus. Procesul e amorsat de piesele de susținere 4 din grafit sau oțel pentru începerea încărcării. Procesul de încărcare se face cu un electrod cu sectiune mare sau cu mai mulți electrozi. Numărul de electrozi și parametrii regimului de sudare se stabilesc în raport cu dimensiunile suprafețelor care se încarcă și cu grosimea stratului ce se depune. Operația se termină pe o placă de ieșire de capăt sau o cochilă, după care se întrerup mișcările de lucru și se întrerupe curentul de sudare. După solidificarea metalului încărcat se îndepărtează patinele de cupru.

1-suprafață de încărcat

2-sărme de alimentare a băii

3-patine de cupru

4-piese de susținere din grafit sau oțel

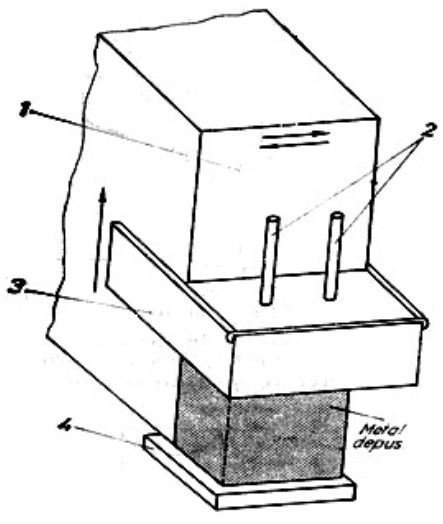


Fig. 5.9. *Încărcarea în baia de zgura a unei suprafețe plane* [9]

Încărcarea suprafețelor cilindrice se face prin delimitarea băii de zgură și de metalul topit cu o cochilie din cupru, răcită cu apă, în cazul pieselor cu generatoare scurtă. În cazul pieselor cu generatoare lungă, cochilia se înlocuiește cu o patină circulară de cupru care se așază concentric cu piesele de încărcat.

5.6. Încărcarea prin sudare cu plasmă

Plasma este a patra stare de agregare a materiei (pe lângă solid, lichid și gaz) și se prezintă ca un gaz puternic ionizat. Aceasta se obține prin constrângerea unui arc electric printr-un orificiu foarte îngust, într-un mediu gazos format din argon, hidrogen, azot sau alte gaze similare.

Echipamentele folosite pentru producerea ei se numesc **plasmatroane** (generatoare de plasmă) și se împart în trei categorii principale, fiecare având aplicații industriale specifice:

1. **Generatoare cu jet de plasmă:** Sunt utilizate în special pentru operațiunile de **tăiere** a metalelor;
2. **Generatoare cu arc de plasmă:** Sunt folosite cu precădere la **sudare și la încărcarea prin sudare** utilizând **sârmă ca material de adaos;**
3. **Generatoare cu arc dublu:** Sunt destinate în special operațiunilor de **încărcare** unde **materialul de adaos** este sub formă de **pulbere**.

În cazul procesului de încărcare prin sudare cu plasmă, straturile depuse (folosind sârmă sau pulbere ca material de adaos) sunt proiectate special pentru a oferi pieselor o rezistență superioară la uzare, coroziune și temperaturi ridicate.

Avantajele procedeului

- **Productivitate ridicată:** Asigură un randament excelent, atât în procesele de sudare, cât și în cele de tăiere a materialelor;

- **Stabilitate excepțională a arcului:** Permite realizarea de suduri precise chiar și la intensități extrem de mici ale curentului (cum este cazul sudării cu microplasmă, unde (Is < 1A);
- **Zonă Influențată Termic (ZIT) redusă:** Datorită concentrării ridicate a energiei, deformările termice ale pieselor sunt minime;
- **Calitate superioară a îmbinărilor:** Garantează realizarea unor suduri curate, omogene și rezistente;
- **Toleranță la variații poziționale:** Procesul rămâne stabil și nu este afectat de micile fluctuații ale distanței dintre duză și suprafața piesei de lucru.

Dezavantajele procedeului

- **Complexitatea echipamentelor:** Generatoarele de plasmă (plasmatroanele) au o construcție complexă și o greutate structurală mare;
- **Mentenanță riguroasă:** Echipamentele necesită o întreținere pretențioasă și tehnicieni calificați pentru reglare și exploatare.

Variante ale procesului de încărcare prin sudare cu plasmă

Principalele tehnici utilizate pentru încărcarea prin sudare cu plasmă sunt clasificate în funcție de tipul și configurația materialului de adaos:

- **Încărcare cu plasmă și sârmă:** Utilizează o singură sârmă ca material de adaos pentru refacerea sau protejarea suprafețelor;
- **Încărcare cu plasmă și două sârme:** Implică alimentarea simultană a două sârme, o metodă ideală pentru creșterea ratei de depunere și a productivității;
- **Încărcare cu plasmă și pulberi metalice:** Folosește materiale de adaos sub formă de pulbere fină, injectată direct în arcul de plasmă, oferind o flexibilitate mare în obținerea unor aliaje speciale;

- **Încărcare cu microplasmă:** O variantă de înaltă precizie care utilizează curenți de intensitate foarte mică, fiind destinată componentelor de dimensiuni reduse sau straturilor extrem de subțiri.

Încărcarea prin sudare cu plasmă și material de adaos- sîrmă

Procesul de sudare se bazează pe acțiunea simultană a două arcuri electrice și pe gestionarea controlată a fluxurilor de gaz:

- **Arcul de plasmă principal (propriu-zis):** Este generat de o sursă de sudare (SS) cu caracteristică externă brusc coborâtoare. Aceasta se conectează între electrodul central din wolfram (W) și piesa de încărcat (MB — materialul de bază). Arcul electric este constrâns fizic să treacă printr-o duză (ajutaj) răcită cu apă, prin care este insuflat concomitent și gazul plasmagen (Gpl);
- **Arcul pilot:** Se creează între electrodul de wolfram și duză, fiind alimentat de la aceeași sursă de sudare (SS). Pentru amorsarea inițială a arcului pilot se utilizează un oscilator de înaltă frecvență (OSC);
- **Alimentarea cu gaze:** Sistemul utilizează circuite independente pentru cele două tipuri de gaze necesare procesului — gazul plasmagen (Gpl) și gazul de protecție (Gpr), ambele fiind stocate și furnizate din butelii separate.

Duzele generatorului (din aliaj de Cu) sunt răcite intens prin circuite speciale cu apă, de asemenea și electrodul din W [4].

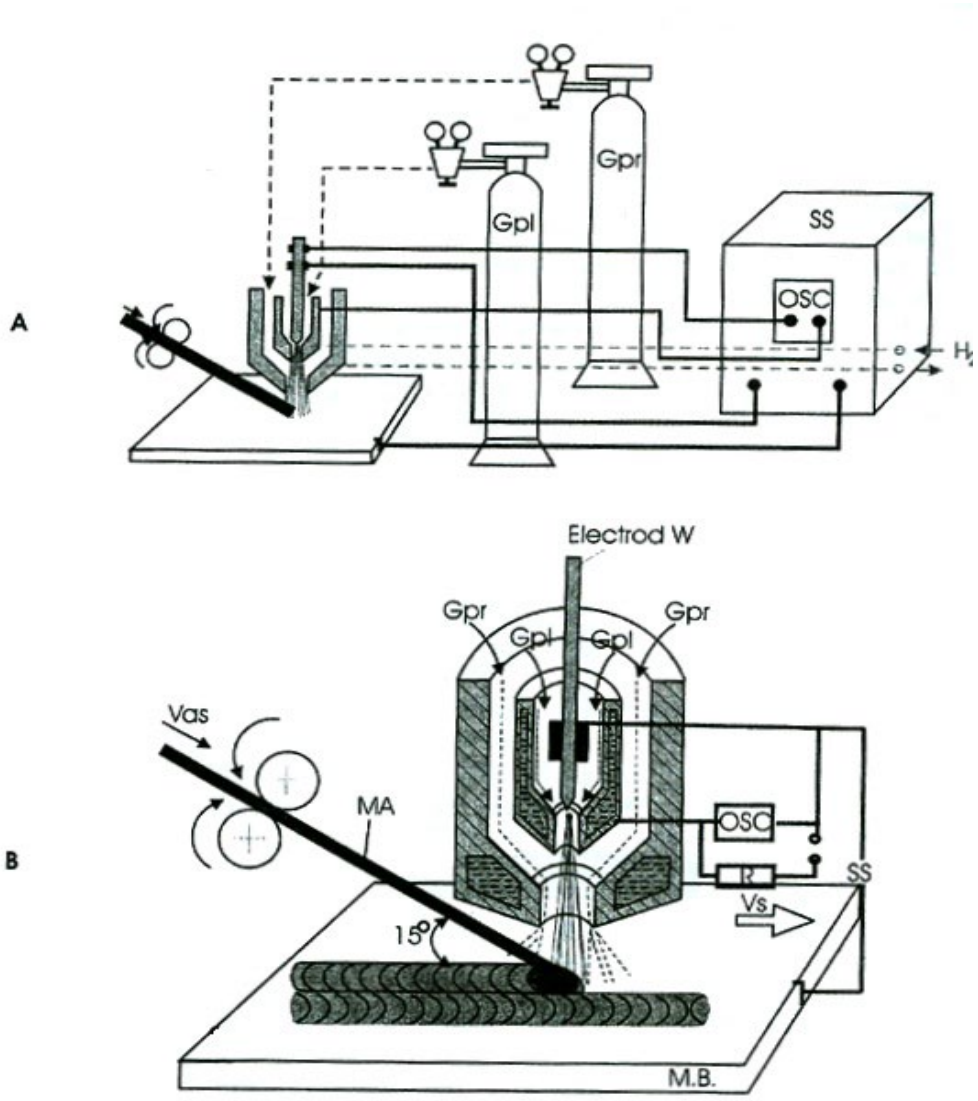


Fig.5.10. *Încărcarea prin sudare cu plasmă și material de adaos-sârmă* [4]
A – schema de principiu; B – schema de detaliu

Arcul de plasmă este orientat dinspre plasmatron către suprafața piesei de încărcat. Atât lungimea, cât și puterea arcului sunt determinate de corelarea strictă a **următorilor parametri de lucru:**

- **Curentul de sudare (I_s):** Variază într-un interval larg, între **0,1 și 400 A**, în funcție de precizia cerută și de grosimea stratului depus;

- **Tensiunea arcului de plasmă (U_a):** Se situează în intervalul cuprins între **20 și 40 V**;
- **Diametrul orificiului duzei plasmagene (ϕ):** Are valori calibrate între **0,8 și 2,2 mm** pentru a asigura constrângerea optimă a arcului;
- **Debitul de gaz plasmagen (D_{Gpl}):** Este reglat la un nivel fin, între **0,1 și 3 l/min**;
- **Debitul de gaz de protecție (D_{Gpr}):** Necesită un volum mai mare pentru protejarea materialului topit, fiind setat între **3 și 20 l/min**.

Grosimea, compoziția chimică și calitatea stratului depus sunt controlate prin modul de alimentare cu material de adaos și prin energia arcului:

- **Alimentarea cu material de adaos (MA):** Sârma este introdusă direct în arcul de plasmă cu ajutorul unui dispozitiv de avans independent. Viteza de derulare a sârmei (v_{as}) este reglată precis în deplină corelație cu volumul de metal topit pe care operatorul dorește să îl depună pe suprafața piesei;
- **Mecanismul de aliere:** Proprietățile superioare ale stratului protector se obțin prin topirea sârmei aliate în arcul de plasmă și fuzionarea acesteia cu baia metalică formată pe suprafața materialului de bază;
- **Controlul diluției:** Gradul de pătrundere și amestec al materialului de adaos cu cel de bază (diluția) este influențat direct de doi parametri esențiali: intensitatea curentului arcului de plasmă și viteza de deplasare a capului de sudare.

Materiale de adaos-sârmă utilizate pot fi: sârme pline s (folosite la MIG/MAG) sau sârme tubulare pentru încărcare [4]. Se pot utiliza și benzi stratificate, plăci turnate sau pulberi sinterizate presate dispuse culcat pe suprafața și zona de încărcat. Încărcarea se poate realiza în regim automat, în orice poziție de sudare, și la toate metalele (mai rar fonta) [4].

5.7. Încărcarea prin sudare în arc de plasmă cu două sârme calde

Principala particularitate care diferențiază acest procedeu de varianta anterioară este introducerea a două sârme „calde” direct în zona arcului de plasmă. Acestea sunt preîncălzite prin conducție termică până la o temperatură cuprinsă între **850 și 1000 °C** (măsurată la intrarea în arc) cu ajutorul unei surse electrice independente, reprezentată de un transformator (Tr).

Preîncălzirea sârmelor permite o topire mult mai rapidă în arcul de plasmă, crescând semnificativ randamentul de depunere și reducând energia termică transferată materialului de bază.

Echipamentul utilizează un plasmatron cu configurație simplă și arc transferat pentru a asigura un management precis al componentelor geometrice și metalurgice ale cordonului:

- **Reglarea parametrilor de depunere:** Ajustarea adâncimii de pătrundere, a gradului de diluție și a înălțimii stratului depus se realizează în strânsă corelație cu volumul și viteza materialului de adaos introdus prin cele două sârme preîncălzite;
- **Poziționarea capului de sudare:** Pentru a menține stabilitatea termică a procesului și uniformitatea geometriei depunerii, este esențial ca distanța dintre generatorul de plasmă și suprafața piesei de lucru să fie menținută strict constantă pe parcursul întregii operații.

Principalul avantaj al acestui procedeu constă în posibilitatea de a decupla reglajul componentelor geometrice ale depunerii. Astfel, adâncimea de pătrundere și înălțimea stratului depus pot fi controlate în mod independent, chiar și la valori fixe ale vitezei de încărcare și ale parametrilor de pendulare:

- **Controlul pătrunderii:** Este determinat strict de intensitatea curentului arcului plasmagen, permițând ajustarea topirii materialului de bază fără a influența volumul de adaos;
- **Controlul înălțimii stratului:** Depinde exclusiv de debitul și cantitatea de sârmă preîncălzită introdusă în baia de metal topit.

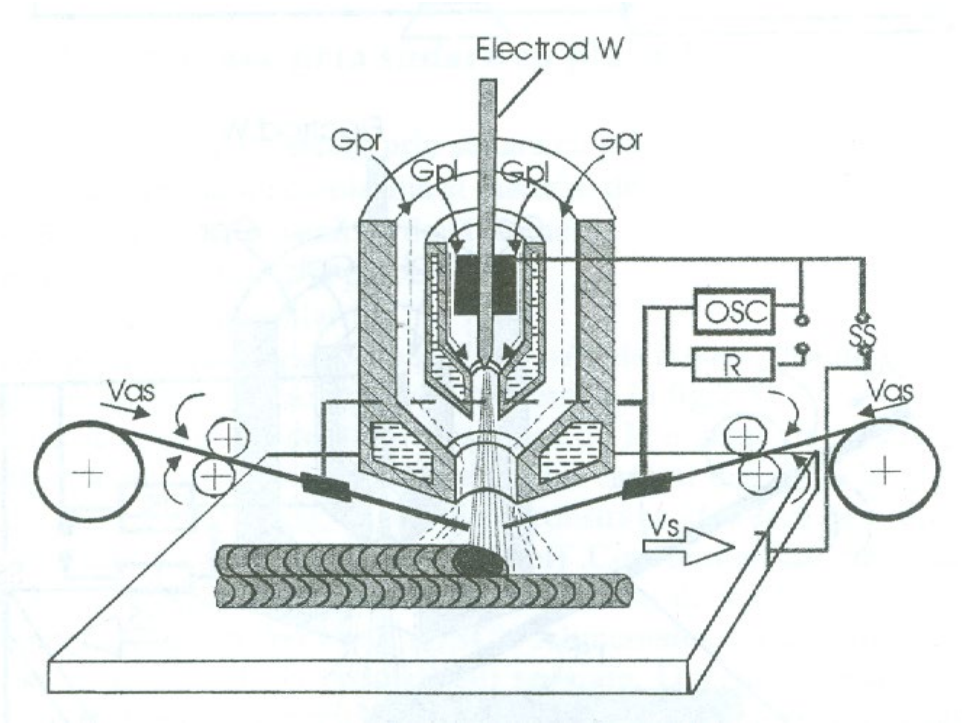


Fig.5.11. *Schema de principiu a încărcării prin sudare în arc de plasmă cu două sârme calde* [4]

Alierea se realizează cu preponderență prin cele două sârme care pot fi de același fel sau diferite. Se pot utiliza sârme pline aliate sau nealiate și sârme (benzi) tubulare cu aliere suplimentară prin fluxul din înveliș [4].

5.8. Încărcarea prin sudare în arc de plasmă cu pulbere

Acest procedeu este tot mai utilizat datorită simplității echipamentului și faptul că încărcarea se poate efectua și manual. Procedeul este cunoscut în practică sub denumirea PTA – Plasmă Tungsten (Wolfram) Arc [4].

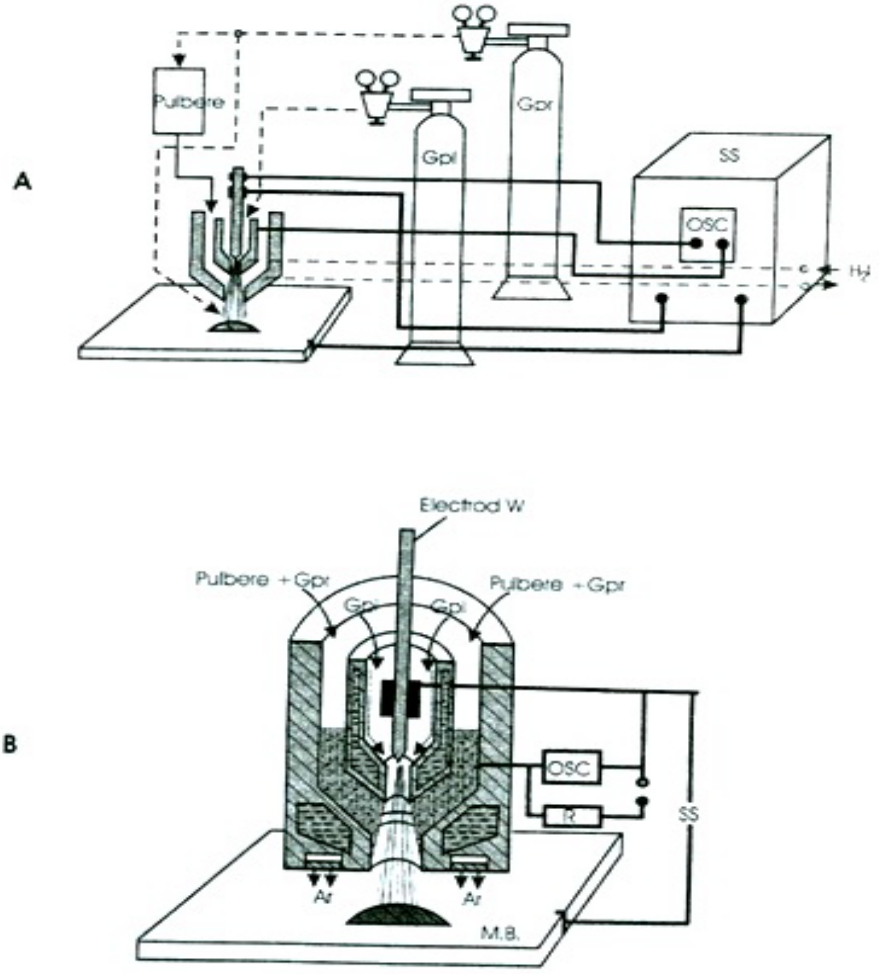


Fig. 5.12. *Încărcarea prin sudare în arc de plasmă cu pulbere-procedeul PTA* [4]

A – schema de principiu; B – schema de detaliu.

Principiul de funcționare și construcția echipamentului

Procesul utilizează un plasmatron clasic, configurat cu arc transferat (principal) și arc pilot (netransferat). Din punct de vedere constructiv și funcțional, dinamica amestecului se desfășoară astfel:

- **Transportul pulberii:** Gazul de protecție (Gpr) este insuflat prin spațiul concentric dintre duza centrală (alocată arcului pilot) și duza exterioară, având rolul secundar de a transporta pneumatic pulberea metalică direct către zona arcului de plasmă;
- **Transferul materialului:** Sub acțiunea combinată a presiunii arcului de plasmă și a energiei cinetice a fluxului de gaz, particulele de pulbere sunt topite instantaneu și transferate uniform pe suprafața piesei de prelucrat;
- **Sistemul de răcire:** Pentru a rezista solicitărilor termice, generatoarele sunt echipate cu circuite de răcire separate, independente pentru duza de pulbere și pentru duza de plasmă.

Varianta complet mecanizată și automatizată

Această configurație industrială de înalt randament este aplicată pe scară largă pentru obținerea unor straturi cu rezistență excepțională la coroziune și uzare. Exemple tipice de utilizare includ:

- Placarea supapelor (ventilelor) și a scaunelor de supapă pentru motoarele cu ardere internă ale autovehiculelor;
- Fabricarea și protejarea tăișurilor cu suprafață mare ale cupelor de excavator.

Varianta manuală a procedeului

Pentru aplicații flexibile, se utilizează un arzător manual cu dimensiuni ergonomice, similare celor folosite în sudarea WIG (TIG). Caracteristicile acestei variante includ:

- **Compatibilitate electrică:** Echipamentul poate fi alimentat de la surse de sudare de tip invertor destinate procedeului WIG, operând la curenți de până la **130 A**;
- **Managementul termic:** Datorită unui sistem special de răcire, plasmatronul manual poate funcționa în regim continuu la un curent de până la **120 A**;
- **Controlul ciclului de depunere:** Alimentarea cu pulbere este complet decuplată de funcționarea arcului, permițând o strategie de lucru optimizată: mai întâi se realizează preîncălzirea locală a piesei (utilizând curenți plasmageni de maximum **50 A**), după care se injectează pulberea simultan cu creșterea curentului la valoarea de regim.

Materiale utilizate și domenii de aplicare

- **Consumabile:** Pulberile metalice destinate placării sunt compuse din aliaje dure de înaltă performanță, cum ar fi sistemele de aliere **fier-crom-cobalt** sau superaliajele pe bază de **cobalt** (steliți);
- **Aplicații specifice:** Varianta manuală este ideală pentru repere cu geometrii complexe sau zone greu accesibile, fiind utilizată intens atât pentru durificarea preventivă a pieselor noi, cât și pentru recondiționarea componentelor uzate.

5.9. Încărcarea prin sudare cu flacără de gaze

Acest procedeu este utilizat pe scară largă atât pentru recondiționarea pieselor uzate prin încărcare superficială, cât și pentru repararea componentelor care prezintă defecte structurale precum fisuri, rupturi sau spărturi.

Particularitatea tehnică principală constă în modul de utilizare a sursei termice: flacăra de gaze combustibile este reglată astfel încât să asigure cu preponderență topirea materialului de adaos (MA) și într-o măsură mult mai mică topirea superficială a materialului de bază (MB). Acest lucru permite un control excelent asupra diluției.

Aplicabilitate: Procedeul se implementează în mod curent în trei scenarii tehnologice distincte:

- **Refacerea geometrică nominală:** Se aplică pentru restabilirea formei inițiale a piesei, situație în care compoziția chimică a metalului depus este identică sau foarte apropiată de cea a materialului de bază;
- **Refacere geometrică funcțională:** Vizează restabilirea dimensiunilor inițiale ale piesei concomitent cu îmbunătățirea rezistenței acesteia la solicitările din exploatare. În acest caz, metalul depus este diferit de cel de bază, având proprietăți superioare;
- **Fabricarea componentelor noi bimaterial (compozite):** Permite producerea de piese optimizate economic și funcțional. Miezul (corpul structural) este realizat dintr-un material de bază mai ieftin, capabil să preia solicitările mecanice interne, în timp ce suprafețele expuse sunt încărcate cu un material de adaos înalt aliat. Acest MA este complet diferit de MB, atât ca structură chimică, cât și ca proprietăți mecanice, fiind adaptat strict la factorii de uzare externi.

Provocări tehnologice majore

Pentru garantarea calității și a duratei de viață a piesei încărcate, tehnologul trebuie să rezolve două probleme critice:

1. **Selecția metalurgică a materialului de adaos:** Alegerea compoziției corecte pentru ca stratul depus să răspundă optim tipului specific de solicitare (abraziune, impact, coroziune, temperatură etc.);
2. **Optimizarea parametrilor de depunere:** Implementarea unei tehnologii de sudare care să asigure o legătură metalurgică foarte bună, (aderență maximă) între stratul depus și materialul de bază, minimizând tensiunile interne și defectele de structură din cordonul de sudură.

Avantajele procedeului

- **Control termic precis:** Permite ajustarea fină a temperaturii flăcării în funcție de dimensiunile, geometria și masa piesei de încărcat;
- **Consumabile accesibile:** Utilizează ca material de adaos sârmă plină, fără strat de acoperire (flux sau înveliș), ceea ce simplifică procesul și reduce costurile de achiziție;
- **Flexibilitate operațională ridicată:** Regimul de lucru poate fi adaptat rapid prin modificarea proporției amestecului de gaze combustibile și prin variația unghiului de înclinare a arzătorului față de piesă.

Dezavantajele procedeului

- **Zonă Influențată Termic (ZIT) extinsă:** Concentrarea redusă a energiei determină o propagare masivă a căldurii în piesa de lucru, generând o zonă afectată termic foarte mare, care poate atinge adâncimi de **20÷30 mm**. Acest lucru crește riscul de deformări și modificări structurale nedorite în materialul de bază;
- **Productivitate redusă:** Viteza de depunere și randamentul global al procesului sunt scăzute în comparație cu procedeele cu arc electric sau plasmă.

Acetilena este gazul combustibil cel mai utilizat în acest procedeu, datorită temperaturii extrem de ridicate pe care o dezvoltă în amestec cu oxigenul și a simplității tehnologice în generare. Flacăra oxiacetilenică prezintă o structură distinctă, fiind compusă din trei zone:

1. **Miezul flăcării (zona 1):** Situat central, are o culoare albă orbitoare la exterior și o nuanță mai închisă în interior;
2. **Zona reducătoare (zona 2):** Înconjoară miezul flăcării și are un caracter puternic reducător, absorbind oxigenul din vecinătate. **Sudarea trebuie executată obligatoriu în această zonă** pentru a preveni oxidarea băii de metal topit;

3. **Zona de ardere completă (zona 3):** Reprezintă mantaua exterioară a flăcării, unde procesul de ardere se finalizează prin aportul de oxigen din atmosfera înconjurătoare.

Direcția și sensul de avans al arzătorului se aleg în funcție de grosimea pereților piesei de prelucrat:

- **Sudarea spre stânga (înainte):** Se aplică pentru piese subțiri, cu o grosime de **maximum 6 mm**;
- **Sudarea spre dreapta (înapoi):** Este recomandată pentru piese cu pereți groși, ce **depășesc 5 mm**.

Viteza de depunere este direct proporțională cu grosimea piesei și mărimea (calibrul) duzei utilizate. Ca formă de prezentare, materialul de adaos se utilizează sub formă de vergele sau sârme pline și se recomandă să aibă o compoziție chimică similară cu cea a piesei de recondiționat.

În funcție de natura materialului de bază, se utilizează următoarele fluxuri:

- **Pentru fontă:** Se utilizează **boraxul *($Na_2B_4O_7$);***
- **Pentru cupru și aliajele sale:** Se folosește un amestec de **borax și acid boric**;
- **Pentru aluminiu și aliajele sale:** Se utilizează un amestec complex pe bază de **clorură de sodiu, clorură de potasiu, clorură de litiu, fluorură de potasiu și sulfat de sodiu**.

5.9.1. RECONDIȚIONAREA PRIN SUDARE CU FLACĂRĂ DE GAZE A PIESELOR DIN OȚEL CARBON

Acest procedeu este recomandat în principal pentru piese cu pereți subțiri, având o grosime de **sub 3 mm**. În cazul în care echipamentele pentru

încărcarea cu arc electric nu sunt disponibile, tehnologia poate fi extinsă și la piese cu pereți mai groși.

În schimb, pentru piesele realizate din **oțeluri aliate**, încărcarea cu flacără de gaze **nu este recomandată**, fiind preferate metodele de încărcare prin sudare cu arc electric pentru a evita degradarea elementelor de aliere.

TEHNOLOGIA DE ÎNCĂRCARE ÎN FUNCȚIE DE CONȚINUTUL DE CARBON

Procedura operațională diferă semnificativ în funcție de concentrația de carbon din materialul de bază:

- **Oțeluri cu conținut scăzut sau mediu de carbon:** Încărcarea se realizează direct, **fără preîncălzire**. Se utilizează o flacără neutră, iar utilizarea fluxului decapant nu este necesară, deoarece dezoxidarea băii de metal topit este asigurată direct de acțiunea flăcării;
- **Oțeluri cu conținut ridicat de carbon:** Procesul necesită măsuri stricte de prevenire a fisurării:
  - **Preîncălzire:** Piesa se preîncălzește obligatoriu într-un interval de temperatură cuprins între **600 și 650 °C**;
  - **Reglarea flăcării:** Se utilizează o flacără neutră sau ușor carburantă (pentru a compensa arderile de carbon);
  - **Consumabile:** Se folosesc o sârmă de adaos cu un conținut de carbon **sub 0,3%** și fluxuri speciale de protecție;
  - **Tratament termic post-sudare:** După finalizarea sudării, piesele sunt supuse unui tratament termic de **recoacere la temperatura de 750 °C** pentru detensionare și uniformizarea structurii.

5.9.2. RECONDIȚIONAREA PRIN SUDARE CU FLACĂRĂ DE GAZE A PIESELOR DIN FONTĂ

Tehnologia de recondiționare a pieselor din fontă se alege în funcție de dimensiunea pieselor și de nivelul de solicitare din exploatare:

- **Sudarea la rece (fără preîncălzire):** Se aplică exclusiv pieselor din fontă de dimensiuni mici, care vor fi supuse unor solicitări mecanice mici și în cazurile în care nu se impun condiții stricte de etanșeitate.
- **Sudarea la cald (cu preîncălzire):** Este obligatorie pentru piese cu grosimi mari de perete sau puternic solicitate în stare funcțională. Preîncălzirea poate fi locală sau totală și se realizează în intervalul de temperatură cuprins între **500 și 650 °C**. Post-sudare, piesa trebuie supusă unei răciri foarte lente în cuptor sau prin acoperire cu materiale termoizolante (cum ar fi azbestul).

În cazul sudării unor fisuri sau crăpături, pentru limitarea propagării defectelor și asigurarea pătrunderii, se aplică următoarea procedură:

- **Stoparea propagării fisurii:** Se execută orificii de stopare cu diametrul de **3÷5 mm**, poziționate la o distanță de cel puțin **15 mm** dincolo de extremitățile vizibile ale fisurii;
- **Prelucrarea marginilor:** Rostul se prelucrează în formă de V pe toată lungimea defectului (plus o toleranță de **15÷25 mm** la capete), cu un unghi de deschidere $\alpha = (90 \div 120)^0$. Operația se realizează prin dăltuire, polizare sau frezare.
- **Reglajul flăcării:** Se recomandă utilizarea unei flăcări ușor carburante. Aceasta are rolul de a compensa arderile inevitabile de carbon din fontă și de a proteja integral baia de sudură prin caracterul ei reducător;
- **Materialul de adaos:** Se utilizează sub formă de vergele turnate din fontă, având lungimi de **400–600 mm** și diametre cuprinse între **4 și 20 mm**. Compoziția chimică optimă a vergelelor: **3**÷3,4% C; 4÷4,5% Si; 0,2÷0,4% P; 0,6÷0,8% Mn și maximum 0,66% S**;**
- **Fluxul utilizat:** Pentru dizolvarea oxizilor și fluidizarea băii se utilizează **boraxul*($Na_2B_4O_7$).***

Pentru obținerea unor îmbinări fără structuri fragile de călire (fontă albă), procesul de preîncălzire, sudare și răcire se recomandă să se desfășoare în termostate speciale (incinte termoizolante complet închise):

1. **Ciclul de încălzire (Termostat staționar):** Conectat la un cuptor pentru a prelua gazele calde, acest sistem asigură o curbă termică controlată:
   - Încălzire lentă inițială, împreună cu cuptorul, cu o viteză de **50°C/h** până la atingerea pragului de **100°C**.
   - Încălzire forțată (accelerată) timp de 30 de minute, cu o viteză de **100°C/h**, în interiorul cuptorului propriu-zis.
2. **Etapa de sudare (Termostat de banc):** Piesa încălzită se transferă în termostatul de banc, echipat cu pereți dubli din tablă și un strat izolator de azbest gros de **20–25 mm**. Operatorul execută sudarea prin ferestre de vizitare speciale, care pot fi închise pentru a limita pierderile termice.
   - *N*Dacă procesul de sudare depășește o durată de **1,5 ore**, piesa se reintroduce temporar în cuptor pentru uniformizarea temperaturii, după care se reia procesul de sudare.
3. **Ciclul de răcire:** După finalizarea sudării, piesa revine în termostatul staționar, unde se răcește lent, odată cu cuptorul, cu o viteză controlată de **40°C/h**.

5.9.3. RECONDIȚIONAREA PRIN SUDARE CU FLACĂRĂ DE GAZE A PIESELOR DIN ALUMINIU

Aluminiul și aliajele sale oxidează puternic deoarece acestea prezintă o afinitate mare pentru oxigen, formând rapid o peliculă de oxid de aluminiu (Al_2O_3) greu fuzibilă, care împiedică topirea materialelor și formarea băii de sudură. Pentru contracararea acestui fenomen, tehnologia de sudare impune luarea următoarelor măsuri:

- **Reglarea flăcării:** Se utilizează o flacără carburantă, cu un ușor exces de acetilenă, având rol reducător;
- **Utilizarea fluxurilor:** Se folosesc fluxuri decapante speciale pe bază de cloruri și fluoruri pentru dizolvarea și eliminarea eficientă a oxizilor;
- **Regimul termic:**
  - **Preîncălzire:** Piesa se încălzește în intervalul **200–250 °C**.
  - **Post-tratament:** După finalizarea sudării, se aplică un tratament termic de **recoacere la 300–350 °C**, urmat de o răcire lentă pentru eliminarea tensiunilor interne din material.

Încărcarea cu materiale de adaos dure (pe bază de Fe, Co și Ni): Procedeul utilizează vergele turnate din aliaje pe bază de cobalt (steliți) sau nichel și este ideal pentru recondiționarea componentelor cu geometrie complexă, dar de dimensiuni reduse. Datorită bunei aderențe și a controlului precis al flăcării, stratul depus este uniform, obținându-se o diluție optimă cu materialul de bază, ceea ce asigură atingerea unei durități maxime și a unei rezistențe bune la coroziune în exploatare.

Mărimea duzei arzătorului se alege în funcție de geometria piesei, astfel încât să se asigure un debit de 35 l/h, pentru 1 mm grosime a metalului de bază [4]. Diametrul vergelei se alege conform tabelului următor, ce conține corelații între capacitatea duzei și diametrul vergelei: [4]

Tabelul 5.3.

Capacitatea duzei (l/oră)	**Diametrul vergelei** (mm)
Max. 225	3,2 (1/8”)
Max. 350	4,8 (3/16”)
Max 500	6,4 (1/4”)
Max. 760	8,0 (5/16”)

Sudobrazarea cu materiale dure a oțelurilor

Pentru depunerea straturilor dure pe suprafețele din oțel, se utilizează o variantă specifică a sudării cu flacără oxiacetilenică, denumită **sudobrazare** (sau *brazarea prin sudare*).

Prin acest procedeu, materialul de bază este încălzit doar până la temperatura de topire a aliajului de adaos înalt aliat. Astfel, legătura dintre cele două materiale se realizează prin difuzie și aderență capilară, fără topirea propriu-zisă a oțelului. Această tehnică oferă două avantaje metalurgice majore:

1. **Diluție minimă:** Proprietățile și duritatea stratului depus nu sunt afectate de amestecul cu materialul de bază;
2. **Tensiuni termice reduse:** Riscul de deformare sau fisurare a piesei din oțel este semnificativ diminuat.

Pentru realizarea procesului de sudobrazare se utilizează o flacără carburantă (cu exces de acetilenă). Aceasta se obține prin echiparea arzătorului cu o duză de calibru mai mare decât cea folosită la sudarea convențională a oțelului și prin suplimentarea debitului de acetilenă.

Reglajul corect impune ca lungimea zonei mijlocii (reducătoare) a flăcării să fie de aproximativ 3 ori mai mare decât lungimea nucleului. Mecanismele operaționale ale acestui reglaj includ:

- **Mecanismul de exudare:** La contactul flăcării cu piesa, suprafața oțelului absoarbe local o cantitate mică de carbon. Acest aport reduce temperatura de topire a stratului superficial și produce fenomenul de umezire (exudare);
- **Depunerea materialului:** În momentul în care vergeaua de adaos atinge această suprafață exudată, metalul topit se răspândește rapid și uniform. Condiția tehnică obligatorie este menținerea nucleului flăcării la distanță de baia metalică, pentru a evita supraîncălzirea locală;

• **Tehnica de avans:** Aplicarea materialului de adaos urmează principiile similare brazării, necesitând o preîncălzire în urma căreia suprafața materialului de bază (MB) atinge culoarea roșu-aprins.

Tehnologia se adaptează în funcție de compoziția chimică a materialului de bază:

- **Oțeluri inoxidabile austenitice:** Excesul de acetilenă trebuie limitat pentru a preveni carburarea excesivă (care distruge rezistența la coroziune). Lungimea zonei mijlocii a flăcării se reduce la maximum 2 ori lungimea nucleului.
- **Oțeluri înalt aliate cu crom:** Pentru a contracara formarea oxizilor stabili de crom și a îmbunătăți fluiditatea băii, se folosește o flacără accentuat reducătoare, în care zona mijlocie este reglată la o lungime aproximativ egală cu cea a nucleului;
- **Oțeluri cu conținut ridicat de carbon:** Din cauza riscului major de fisurare și a modificărilor structurale fragile, procesul impune preîncălzirea piesei înainte de depunere și executarea unui tratament termic post-sudare pentru detensionare;
- **Fonte, oțeluri turnate și aliaje de nichel:** Pentru aceste materiale se recomandă utilizarea unor materiale de adaos specifice, pe bază de nichel, care asigură o compatibilitate și o aderență foarte bune.

Concluzii: Încărcarea cu flacără de gaze și varianta sa specializată, sudobrazarea, se impun prin flexibilitate operațională și costuri reduse de implementare, fiind ideale pentru piese cu geometrii complexe sau de dimensiuni reduse. Succesul acestor procedee depinde de managementul termic și chimic al flăcării oxiacetilenice. Fie că este vorba despre exploatarea caracterului reducător al zonei mijlocii pentru evitarea oxidării aluminiului, utilizarea fluxurilor pe bază de borax, apelarea la incinte termostatate pentru

evitarea structurilor fragile în fonte, sau provocarea fenomenului de exudare prin carburare superficială în cazul oțelurilor, controlul strict al regimului termic este cel care garantează o legătură metalurgică foarte bună prin difuzie și o diluție minimă cu materialul de bază.

În definitiv, alegerea tehnologiei optime de încărcare reprezintă un compromis tehnologic și economic complex. Ea trebuie să pună în echilibru compoziția chimică a materialelor de adaos (aliaje pe bază de Fe, Co sau Ni) cu cerințele funcționale ale piesei, asigurând prelungirea duratei de viață a echipamentelor în condiții de eficiență maximă.

Pe de altă parte procedeele de încărcare prin sudare moderne, precum procedeul de încărcare în arc de plasmă, prin variantele sale cu sârmă, pulberi sau microplasmă, reprezintă o soluție de înaltă productivitate și precizie. Datorită transferului arcului constrâns prin duze special răcite, acest sistem asigură o densitate remarcabilă de energie. Avantajele sale metalurgice majore constau în limitarea Zonei Influențate Termic (ZIT) și permiterea reglării independente a pătrunderii și a înălțimii cordonului. În ciuda complexității și a costurilor ridicate ale echipamentelor (plasmatroane), tehnica este indispensabilă în producția automatizată de piese, dar și la recondiționarea de piese uzate.

O analiză comparativă între procedeele înalt energetice cu arc de plasmă și tehnicile convenționale cu flacără de gaze evidențiază o corelație directă între parametrii tehnologici, natura materialelor utilizate și calitatea structurală a straturilor depuse.

6. MANAGEMENTUL TEHNOLOGIC AL PROCESELOR DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE

Managementul și conducerea proceselor de sudare, reprezintă ansamblul de măsuri tehnice, tehnologice și organizatorice necesare pentru a asigura obținerea unor îmbinări sudate de înaltă calitate, în conformitate cu standardele în vigoare (ISO 3834).

Acest proces implică un control riguros în toate cele trei etape principale: **înainte**, **în timpul** și **după** finalizarea sudării după cum urmează:

1. Activități pre-sudare (Pregătirea)

- **Specificarea Procedurii de Sudare:** Elaborarea documentului tehnic care conține toate variabilele esențiale ale procesului (curent, tensiune, viteza de sudare, material de adaos);
- **Controlul materialelor:** Verificarea certificatelor de calitate pentru materialele de bază și materialele de adaos (electrozi, sârme, fluxuri, gaze de protecție etc.);
- **Pregătirea marginilor:** Controlul geometriei rostului, curățarea de rugină, uleiuri sau vopsea și asamblarea elementelor.

2. Activități în timpul Sudării

- **Monitorizarea parametrilor de sudare:** Menținerea intensității curentului (I), tensiunii arcului (U) și vitezei de sudare în limitele stabilite;
- **Curățarea zgurii:** Îndepărtarea completă a stratului de zgură între treceri succesive pentru a evita incluziunile;
- **Respectarea succesiunii de sudare:** Aplicarea cordoanelor într-o ordine specifică pentru a minimiza tensiunile remanente și deformațiile.

3. Activități post-sudare

- **Tratamente termice post-sudare:** Aplicarea tratamentelor de detensionare, dacă este necesar;
- **Controlul vizual:** Prima și cea mai importantă examinare pentru identificarea defectelor de suprafață (pori, fisuri, cratere, abateri de la forma geometrică etc.);
- **Examinări nedestructive:** Utilizarea metodelor cu ultrasunete, radiografice, cu lichide penetrante sau particule magnetice pentru depistarea defectelor interne;
- **Întocmirea certificatului de calitate,** care include toate rapoartele de inspecție.

Automatizarea proceselor de sudare: În prezent, conducerea modernă a proceselor de sudare se bazează pe sisteme avansate de monitorizare în timp real, astfel există:

- **Sisteme de urmărire a rostului:** Senzori laser sau optici, care ghidează capul de sudare automat pe axa îmbinării;
- **Software de management al sudării:** Programe care înregistrează automat consumul de materiale, timpul de funcționare al arcului de sudură și abaterile parametrilor de la specificațiile procedurii de sudare;
- **Sudarea robotizată:** Utilizarea roboților industriali pentru a asigura o repetabilitate maximă și o productivitate ridicată.

Însă înainte de a începe procesul de recondiționare trebuie stabilite niște lucruri precum, gradul de fisurare acceptat. Acest lucru se stabilește prin proiectare. În anumite aplicații, cum sunt de exemplu suprafețele de etanșare, fisurile constituie defecte care diminuează rezistența la uzare și afectează integritatea funcțională. De asemenea, stabilitatea dimensională a structurilor bimetalice depinde direct de nivelul și evoluția tensiunilor

reziduale în timpul exploatării. Aceste tensiuni sunt determinate de configurația geometrică a ansamblului, de rigiditatea structurală a acestuia și de parametrii tehnologici ai procesului de depunere. Controlul, reducerea și redistribuirea tensiunilor reziduale se pot realiza prin aplicarea unor tratamente termomecanice adecvate.

Analiza variației proprietăților în funcție de numărul de straturi depuse și dirijarea controlată a acestora sunt esențiale în aplicațiile unde performanțele structurale sunt afectate semnificativ. În cazul anumitor materiale, optimizarea acestor caracteristici se realizează direct prin ajustarea parametrilor tehnologici de depunere. Totodată, evaluarea posibilităților de prelucrare mecanică la cota finală, raportată la dotările tehnologice disponibile, vizează trei aspecte distincte, dar interdependente din structura ansamblului bimetalic:

1. Prelucrabilitatea materialului depus prin sudare;
2. Comportamentul la prelucrare al zonei influențate termic (ZIT) și al zonelor de diluție;
3. Prelucrarea mecanică a materialului de bază.

ALEGEREA PARAMETRILOR DE ÎCĂRCARE:

1) Parametrii principali

- **Intensitatea curentului de sudare (I) [A]:** Este principalul parametru care determină rata de depunere (productivitatea) și adâncimea de pătrundere.
  - Creșterea intensității mărește pătrunderea și implicit rata de diluție cu materialul de bază.
- **Tensiunea arcului electric (U) [V]:** Determină lungimea arcului electric și lățimea cordonului de sudură.

- O tensiune mai mare extinde lățimea baii de metal topit și aplatizează cordonul, crescând ușor diluția prin topirea unei suprafețe mai mari din materialul de bază.

- **Viteza de depunere (v_s) [cm/min]:** Reprezintă viteza de deplasare a sursei de căldură de-a lungul îmbinării.
  - O viteză prea mare reduce energia liniară, conducând la cordoane înguste și la riscul de lipsă de topire. O viteză optimă asigură o grosime controlată a stratului.
- **Energia liniară (E_l):** Este un parametru calculat care însumează aportul termic introdus în piesă**.**

2. Parametrii geometrici și de poziționare

- **Polaritatea și tipul curentului:**
  - Curentul continuu cu polaritate inversă **CC^+** asigură stabilitatea arcului, dar oferă o pătrundere mai adâncă.
  - Curentul continuu cu polaritate directă **CC^-** este adesea preferat la încărcări deoarece **minimizează pătrunderea și diluția**, maximizând rata de depunere.
- **Capătul liber al sârmei [mm]:** Distanța de la duza de contact electric până la vârful sârmei.
- **Depunerea cordoanelor [mm]:** Distanța dintre axele a două cordoane succesive. Pentru a obține o suprafață plană și uniformă, gradul de suprapunere optim este de regulă între **30% și 50%** din lățimea unui cordon individual.
- **Înclinarea pistoletului:** Sudarea „spre înainte” (înclinare spre direcția de avans) reduce pătrunderea și este ideală pentru obținerea unor straturi subțiri, în timp ce sudarea „spre înapoi” mărește pătrunderea.

CLASIFICAREA, NATURA ȘI DIAMETRUL MATERIALELOR DE ADAOS

Selecția procedeului de sudare și a materialelor de adaos este condiționată de tipul de aliaj ce urmează a fi depus. Fiecărui sistem metalurgic ales îi corespunde o gamă specifică de materiale (electrozi înveliți, cupluri flux-sârmă, sârme pline sau tubulare în mediu de gaz protector), definită de natura protecției arcului și de reacțiile chimice din zona de reacție. Aceste variabile influențează direct, atât proprietățile stratului depus, cât și productivitatea procesului de încărcare. Diametrul materialului de adaos se stabilește în funcție de obiectivele tehnologice, grosimea dorită a stratului și accesibilitatea geometrică a zonei de lucru:

- Pentru straturi subțiri: Se recomandă diametre mici, care permit obținerea geometriei prescrise dintr-o singură trecere, reducând diluția cu materialul de bază.
- Pentru straturi groase: Este preferabilă utilizarea materialelor cu diametru mare, datorită costurilor mai reduse ale consumabilelor și a unei rate superioare de depunere (productivitate crescută).

În practica industrială, dimensiunile nominale standardizate ale materialelor de adaos diferă în funcție de procedeul aplicat:

- Electrozi înveliți: Se produc standardizat cu diametre de: ϕ 1,6 – 2,0 – 2,5 – 3,25 – 4,0 – 5,0 – 6,0 mm.
- Sârme pentru sudarea sub strat de flux: Sunt disponibile în gama: ϕ 2,0 – 2,25 – 3,25 – 4,0 – 5,0 – 6,0 – 8,0 – 10,0 – 12,0 mm *(Utilizarea diametrelor de peste 6,0 mm necesită echipamente și surse de putere specializate)*.
- Sârme pline pentru sudarea în mediu de gaz protector: Sunt livrate cu diametre de: ϕ 0,5 – 0,6 – 0,8 – 1,2 – 1,25 – 1,6 – 1,8 mm.
- Sârme tubulare: Diametrul nominal al acestora este cuprins, în general, între ϕ = 0,8 și 2,5 mm.

6.1. Strategii de determinare a temperaturii de preîncălzire și influența acesteia asupra caracteristicilor ansamblului încărcat

Ansamblurile bimetalice realizate prin încărcare prin sudare reunesc două componente cu profile chimice distincte: stratul depus și materialul de bază. Această heterogenitate compozițională induce asimetrii severe la nivelul coeficienților de dilatare termică și al punctelor critice de transformare în fază. În timpul ciclurilor termice de încălzire-răcire, apar macro-tensiuni tranzitorii și reziduale critice, capabile să declanșeze fenomene de fisurare la rece sau delaminare (exfoliere) a interfeței.

Pentru a diminua susceptibilitatea la fisurare a acestor structuri, tratamentul termic prin preîncălzire reprezintă o soluție tehnologică fundamentală. Amplitudinea și dinamica temperaturii de preîncălzire sunt condiționate direct de toleranțele geometrice și structurale impuse defectelor (numărul, lungimea, morfologia și distribuția fisurilor admisibile). Acest prag de nivel microstructural este reglementat prin criteriile de calitate din faza de proiectare. Prin urmare, temperatura minimă de preîncălzire (T_{pi}) este calibrată analitic astfel încât propensiunea la fisurare a ansamblului să nu depășească limita critică admisă de proiectant.

Determinarea temperaturii minime de preîncălzire (T_{pi}) constituie o problemă complexă. În practica industrială curentă, (T_{pi}) se stabilește empiric prin teste experimentale succesive efectuate direct pe piese. Totuși, temperatura de preîncălzire a fiecărui material din structura ansamblului poate fi evaluată analitic prin metodologii dedicate; în acest caz, (T_{pi}) globală a ansamblului va corespunde valorii maxime identificate printre componentele analizate.

În continuare, sunt detaliate două dintre metodele pentru cuantificarea (T_{pi}):

1. **Metoda bazată pe temperaturile critice de transformare în fază:**
   Această abordare este dedicată materialelor susceptibile la transformări structurale în timpul ciclului termic de încălzire-răcire, fenomene care favorizează apariția unor constituenți fragili și sensibili la fisurare (precum martensita sau bainita) în stratul depus (D) și în zona influențată termic (ZIT). Pentru a contracara acest mecanism, temperatura de preîncălzire a materialului investigat (T_{pi}) este calibrată la o valoare superioară sau cel puțin egală cu pragul termic de declanșare a transformării martensitice.
2. **Determinarea punctelor critice:** Aceste repere termice pot fi identificate prin tehnici clasice sau, în cazul oțelurilor inoxidabile martensitice și martensito-feritice, prin modele analitice. Sub aspect experimental, **analiza dilatometrică** reprezintă metoda aleasă, datorită preciziei înalte și a reproductibilității rapide pentru un sistem dat. Un caz de studiu elocvent îl reprezintă straturile depuse cu electrozi înalt aliați de tipul **EICr2, 5W4, 5V**. Diagrama dilatometrică de referință, obținută conform reglementărilor standardizate pe epruvete prelevate direct din metalul depus în stare brută după sudare, este ilustrată în figura de mai jos.

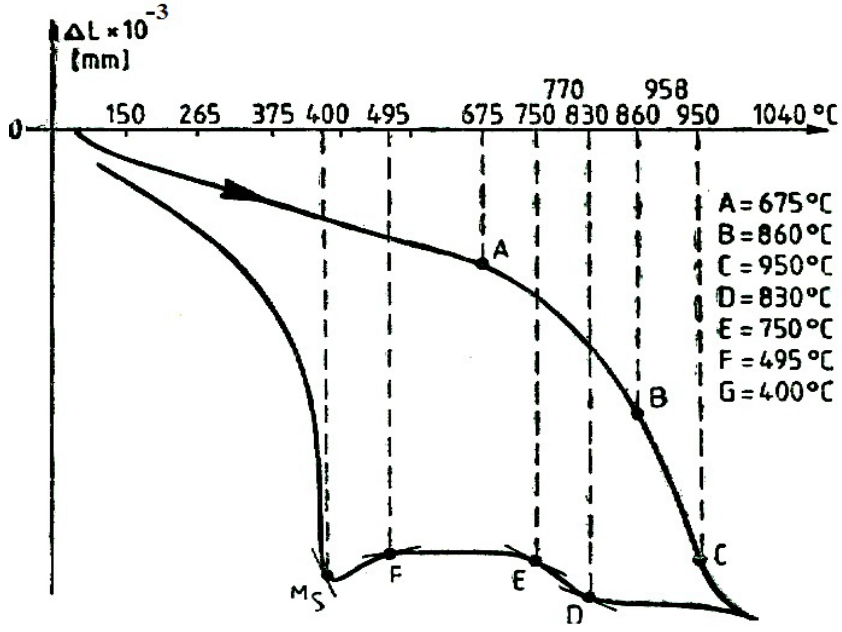


Fig. 6.1. *Curba dilatometrică a MD cu electrozii EICr2,5W4,5V*

Temperatura de început de formare a martensitei (M_s) se situează la 400° C [1]. În cazul oțelurilor inoxidabile-martensitice sau martensito-feritice M_s, se poate determina și analitic, în baza compoziției chimice [1]. În acest scop se recomandă utilizarea relației:

$$M_s = 561 - 475\,(C) - 33\,(Mn) + 17\,(Cr) - 17\,(Ni) - 21\,(Mo) - \\ -11\,(W) - 11\,(Si) + 27\,(Nb) - 44\,9V) + 19\,(Ti)\ [°C] \quad (6.1)$$

Unde, în parantezele rotunde, elementele chimice se înlocuiesc cu conținutul real al acestora, în procente [1]. Se subliniază însă faptul că determinarea prin calcul a temperaturii M_s este afectată de o anumită incertitudine și, în consecință, pentru cazurile pretențioase se recomandă determinarea experimentală a acestei valori [1].

Metoda indicelui de carbon echivalent (C_{ech}):

Această metodă analitică este aplicabilă exclusiv oțelurilor carbon și celor slab aliate, având ca obiectiv determinarea valorii matematice a carbonului echivalent. Deși este un instrument rapid, metodologia prezintă o serie de limitări tehnologice, ne luând în calcul variabile critice din procesul de producție și sudare, cum ar fi:

- **Factorii metalurgici de bază:** Puritatea structurală a materialului, gradul de dezoxidare și tehnologia specifică de elaborare a oțelului;
- **Geometria piesei și condițiile de mediu:** Dimensiunile de gabarit ale componentelor și temperatura ambientală de lucru;
- **Parametrii regimului de sudare:** Procedeul tehnologic utilizat și caracteristicile geometrice ale materialului de adaos (diametrul electrozilor sau al sârmei).

Efectele preîncălzirii asupra piesei încărcate sunt următoarele:

- **Răcire mai lentă:** Încetinește viteza de răcire în materialul depus (MD) și în zona influențată termic (ZIT). Acest lucru previne apariția structurilor dure și fragile (martensita) și ajută la eliminarea gazelor din zonele respective;
- **Tensiuni interne mai mici:** Uniformizează temperatura în întreaga piesă, reducând tensiunile termice. Scăderea acestor tensiuni este mult mai eficientă dacă temperatura de preîncălzire trece de pragul critic în care materialele încep să se dilate diferit;
- **Risc de supraîncălzire în ZIT:** Deoarece piesa este deja caldă, temperatura maximă din jurul sudurii va fi mai mare. Acest lucru poate mări granulația metalului și îi poate scădea rezistența. De aceea, la piese sensibile precum ștanțele, se folosește un material de bază cu granulație fină pentru a limita acest efect negativ;
- **Eliminarea hidrogenului:** Contribuie la eliminarea hidrogenului rapid spre exterior, reducând riscul de fisurare la rece;
- **Modificări în materialul de bază:** Dacă materialul de bază a fost deja călit înainte, căldura de la preîncălzire poate să îi modifice proprietățile inițiale prin procese de revenire sau îmbătrânire a structurii;
- **Costuri mai mari:** Adaugă cheltuieli suplimentare cu energia și echipamentele și scade viteza de lucru (productivitatea) din cauza timpului necesar pentru încălzirea piesei.

Optimizarea parametrilor de regim: Curentul, tensiunea, viteza de sudare și temperatura între treceri

Curentul de sudare (I_s) determină în mod direct energia liniară introdusă de arcul electric și controlează volumul de metal topit. Controlul corect al intensității și al densității de curent implică următoarele efecte și limitări practice:

- **Pătrundere:** Creșterea curentului intensifică adâncimea de pătrundere, mărește rata de diluție cu materialul de bază și reduce lățimea rândului depus;
- **Productivitate:** Din punct de vedere economic, lucrul cu curenți mari este avantajos deoarece crește rata de depunere (productivitatea). Cu toate acestea, valoarea lui (I_s) este adesea plafonată intenționat pentru a nu depăși diluția stabilită prin proiect, prevenind astfel „înmoierea" stratului dur de către materialul de bază;
- **Topirea elementelor de aliere:** O densitate de curent prea ridicată dezvoltă temperaturi extreme în arc, provocând vaporizarea sau oxidarea elementelor chimice de aliere (Cr, W, V etc.) și reducând eficiența transferului lor în baia topită.

În lipsa acestor recomandări curentul de sudare se poate determina cu una din relațiile sau diagramele de mai jos [1]:

$I_s=(20+6\cdot de)\cdot de$ – pentru sudarea electrică cu electrozi înveliți; (6.2)

$I_s = 6,5 \cdot de^2 + 154,75 \cdot de - 138,5$ - pentru sudarea mecanizată sub strat de flux; (6.3)

$I_s=14\cdot de-5$ – la sudarea WIG în $c.c^+$; (6.4)

$I_s=67\cdot de-37$ – la WIG în c.a; (6.5)

$I_s=92\cdot de-42$–la WIG în $c.c^-$. (6.6)

Relațiile sunt valabile pentru:

de = 1-1,2-1,6-2,4-3,2-4,8-5,0-6,3-9,5-12,7 mm.

$I_s = 184,8 \cdot de - 50,28$, la sudarea în CO_2 cu sârme tubulare, în care curentul de sudare se exprimă în A, iar diametrul sârmei electrod în mm. Prin WIG s-a notat sudarea în mediu de argon cu electrod de Wolfram, iar prin $c.c^{\pm}$ sau prin c.a. s-a simbolizat natura și polaritatea curentului (Figurile 6.2 ÷ 6.4.)

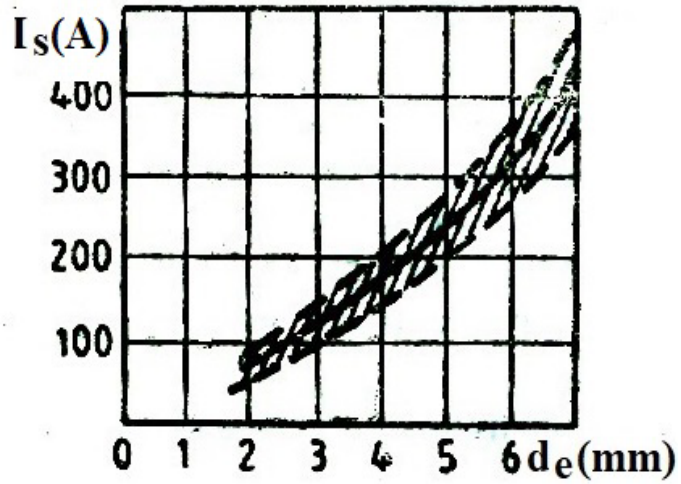


Fig.6.2. *Dependența curentului de sudare de diametrul electrodului la sudarea electrică cu electrozi înveliți;*

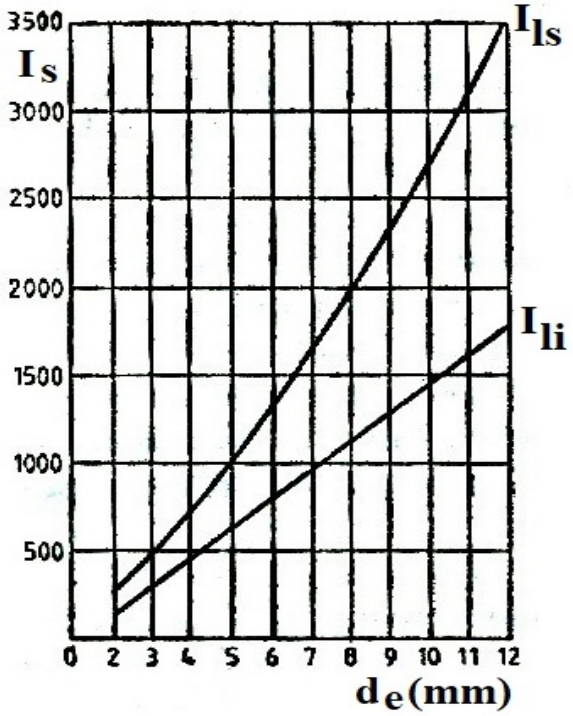


Fig. 6.3. *Domeniul în care trebuie să se afle curentul de sudare I_s în funcție de diametrul sârmei la sudarea sub strat de flux*:

I_{ls} – limita superioară, I_{li} – limita inferioară;

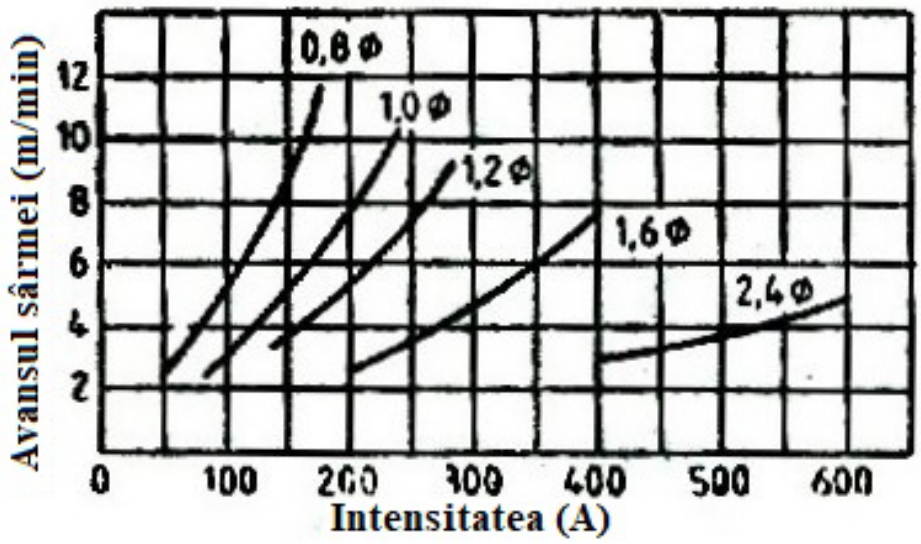


Fig. 6.4. *Dependența curentului de sudare în funcție de viteza de avans a sârmei electrod*

Tensiunea arcului (U_a) *este direct proporțională cu lungimea acestuia (La) și depinde de natura materialelor utilizate, fiind definită prin relația:*

$$U_a = a + b \cdot La \; ; \qquad (6.7)$$

în care: a și b sunt constante specifice materialelor;

La – lungimea arcului.

Efectele sale asupra geometriei rândului depus sunt:

- **Tensiune mică (arc scurt):** Generează o pătrundere adâncă și o lățime redusă a sudurii;
- **Tensiune mare (arc lung):** Crește lățimea stratului depus și scade adâncimea de pătrundere.

Dacă nu dispunem de recomandările producătorilor pentru materiale pentru încărcare, atunci Ua se poate determina orientativ cu una din relațiile:

$$U_a = 2{,}125 \cdot 10^{-2} I_s + 16{,}5 \text{ – pentru sudarea sub strat de flux;} \quad (6{,}8)$$

$$U_a = 1{,}643 \cdot 10^{-2} I_s \text{ – pentru sudarea în } CO_2 \text{ cu sârme pline;} \quad (6.9)$$

$$U_a = 1{,}643 \cdot 10^{-2} I_s + 22{,}0640 \text{ – pentru sudarea în } CO_2\text{, cu sârme tubulare în care Is este curentul de sudare, în (A).} \quad (6.10)$$

Viteza de sudare, influențează forma și dimensiunile rândului de sudură.

Temperatura între rânduri reprezintă temperatura metalului din zona sudurii înaintea depunerii următorului strat. Acest parametru este obligatoriu la încărcarea în mai multe straturi și are două roluri majore:

- **Controlul vitezei de răcire:** Asigură răcirea uniformă a fiecărui rând depus, garantând o structură metalografică omogenă pe toată grosimea încărcării;
- **Prevenirea supraîncălzirii:** Limitează acumularea excesivă de căldură. Pentru a evita apariția fisurilor, se recomandă ca această temperatură să nu depășească pragul de formare a martensitei sau a altor constituenți fragili în material.

PARAMETRII OPERAȚIONALI

Configurația geometrică a depunerii (numărul, succesiunea și dispunerea rândurilor sau straturilor) determină în mod direct calitatea finală a suprafeței încărcate. Această dispunere influențează critic trei parametri majori:

- **Rata de diluție:** Controlează gradul de amestec dintre materialul de bază și cel de adaos;
- **Omogenitatea structurală:** Asigură proprietăți mecanice și chimice uniforme în structură;
- **Nivelul tensiunilor reziduale:** Limitează apariția deformațiilor și a microfisurilor după răcire.

În scopul obținerii unor suprafețe omogene se recomandă ca rândul ulterior să-l topească pe cel precedent pe 1/3÷1/2 din lățimea acestuia [1]. Modul de depunere a rândurilor de sudură la încărcarea cu sudură este prezentat în figura 6.5 [1].

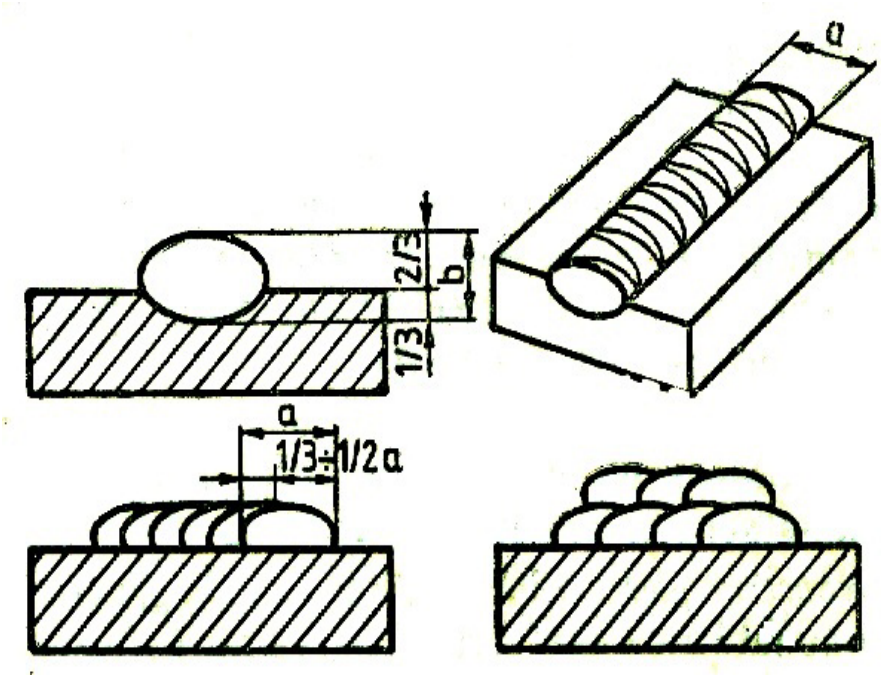


Fig.6.5. *Modul de depunere a rândurilor de sudură la încărcarea cu sudură*

În mod obișnuit, pătrunderea la sudare este de circa 1/3 din lățimea (b), a rândului de sudură. Această valoare asigură o legătură intimă între cele două elemente și o diluție a metalului depus de 10÷40%, în funcție de procedeul utilizat și de densitatea de curent folosită la sudare [1].

La încărcarea prin sudare cu pendulare, lățimea oscilației trebuie limitată la maximum $3xd_e$ (diametrul electrodului). De asemenea, succesiunea de depunere a rândurilor trebuie aleasă astfel încât să minimizeze și să echilibreze deformațiile și tensiunile interne din piesă.

7. TRATAMENTE TERMICE DUPĂ SUDARE

Pentru a atinge performanțele impuse în faza de exploatare, piesele realizate prin încărcare prin sudare necesită adesea tratamente termice ulterioare.

Beneficiile aplicării tratamentelor termice după sudare

Aplicarea tratamentelor termice după sudare are ca scop principal optimizarea comportamentului pieselor în serviciu sau facilitarea etapelor următoare de producție. Printre cele mai importante avantaje se numără:

- **Mărirea siguranței** în exploatare a ansamblului structural.
- **Creșterea stabilității dimensionale** a pieselor prin eliminarea tensiunilor interne.
- **Reducerea riscului de fisurare** în zonele afectate termic.
- **Îmbunătățirea prelucrabilității** prin așchiere a materialului depus.

Provocări tehnologice

Stabilirea parametrilor optimi (temperatură, timp de menținere) reprezintă, de cele mai multe ori, o provocare majoră. Deoarece componentele care formează piesa încărcată diferă frecvent ca structură, compoziție chimică și mod de obținere, pot apărea fenomene de incompatibilitate metalurgică la aplicarea aceluiași regim de tratament termic.

În funcție de scopul urmărit, tratamentele termice post-sudare se împart în:

- **Tratamente de dehidrogenare;**
- **Tratamente de recoacere;**
- **Tratamente de îmbunătățire a caracteristicilor mecanice prin călire-revenire;**
- **Tratamente de precipitare (îmbătrânire);**
- **Tratamente speciale sau combinații ale acestora.**

Dehidrogenarea. Acest tratament are ca obiectiv principal reducerea concentrației de hidrogen difuzibil din piesa încărcată până la un nivel acceptabil, eliminând astfel riscul de fisurare întârziată (fisurare la rece).

- ***Procesul tehnologic*** presupune încălzirea piesei la o temperatură de 250°C÷350°C și menținerea ei în acest interval pentru o perioadă cuprinsă între câteva ore și câteva zile, permițând hidrogenului să fie eliminat prin difuzie. Pentru a obține rezultate optime, tratamentul trebuie aplicat imediat după finalizarea sudării, direct pe piesa caldă, înainte ca aceasta să se răcească.

Recoacerea pieselor încărcate. Recoacerea post-sudare se execută, de regulă, pentru atingerea următoarelor obiective tehnologice:

- ***Îmbunătățirea prelucrabilității prin așchiere*** (prin reducerea durității excesive din zona îmbinării);
- ***Detensionarea structurală*** (diminuarea tensiunilor interne acumulate în timpul procesului de sudare);
- ***Recristalizarea materialului după procesele de deformare plastică la rece.***

Prelucrabilitatea unui material este direct influențată de microstructura sa, care poate fi modificată controlat prin tratamente termice. Strategiile de îmbunătățire diferă în funcție de clasa materialului:

- **Oțeluri carbon și slab aliate (structură feritică):** Ferita tinde să adere pe tăișul sculei așchietoare. Pentru a reduce acest fenomen și a îmbunătăți așchierea, se urmărește diminuarea aderenței feritei prin:
  - Creșterea granulației austenitice;
  - Reducerea proporției de ferită și creșterea corespunzătoare a cantității de perlită;
  - Dispersarea uniformă a feritei în matrice;

- Modificarea morfologiei feritei de la formă poliedrică la cea aciculară.

- **Oțeluri de îmbunătățire:** În stare recoaptă, acestea prezintă structuri ferito-perlitice cu o prelucrabilitate satisfăcătoare. Pentru a crește productivitatea la așchiere, se impune distrugerea eventualelor structuri în benzi sau globulizarea perlitei.
- **Oțeluri eutectoide și hipereutectoide:** Efectul abraziv al lamelelor de cementită și al carburilor aciculare este diminuat prin **globulizare**. Astfel, tăișul sculei alunecă pe particulele globulare și pătrunde ușor în matricea feritică mole, generând așchii care înglobează aceste particule sferice.
- **Oțeluri autocălibile:** În funcție de concentrația elementelor de aliere, îmbunătățirea prelucrabilității se realizează prin recoacere completă, recoacere izotermă sau normalizare.

Detensionarea se aplică pieselor încărcate prin sudare pentru reducerea tensiunilor interne și asigurarea stabilității dimensionale. Acest tratament influențează direct caracteristicile mecanice ale ansamblului, rezistența la fisurare la rece și prelucrabilitatea.

Detensionarea începe la aproximativ 450°C, iar o detensionare aproape completă se obține în intervalul **600°C–700°C**. Pentru o detensionare avansată, se recomandă o temperatură cât mai apropiată de **600°C**, cu o durată de menținere de maximum **3-4 ore** de la egalizarea temperaturii în toată masa piesei.

- **Detensionarea la temperaturi joase:** Un palier de 150°C÷200°C oferă o reducere limitată a tensiunilor și se aplică exclusiv oțelurilor călite.
- **Cazul fontelor:** Detensionarea structurală are loc rapid, începând de la temperatura de circa 400°C.

Majoritatea tensiunilor sunt eliminate în primele 1-2 ore de menținere. Încălzirea și răcirea trebuie să fie lente pentru a preveni cumularea tensiunilor

inițiale cu cele termice sau generarea de noi tensiuni la răcire. Se recomandă aplicarea tratamentului imediat după sudare, direct pe piesa caldă.

Recoacerea de recristalizare. Acest tratament urmărește eliminarea parțială sau totală a ecruisajului indus prin deformare plastică la rece, restabilind echilibrul structural și optimizând raportul dintre proprietățile de rezistență mecanică și cele de plasticitate.

- **Temperatura de recristalizare:** Este o constantă specifică materialului, situată de regulă între 35% și 55% din temperatura sa de topire.
- Mărimea grăuntelui cristalin trebuie monitorizată. Dacă durata de menținere depășește timpul necesar recristalizării propriu-zise, grăunții cresc excesiv, degradând proprietățile mecanice ale materialului.

Tratamente de călire-revenire: Se aplică uzual pieselor în stare recoaptă pentru a le crește duritatea și rezistența mecanică. Parametrii tehnologici sunt unici pentru fiecare cuplu „material de bază – material depus" și se stabilesc experimental, pornind de la recomandările producătorilor pentru fiecare material implicat.

Fenomene de precipitare: La anumite aliaje de încărcare, precipitarea carburilor sau a compușilor intermetalici se poate produce fie controlat (prin tratamente termice adecvate), fie spontan, în timpul exploatării la temperaturi ridicate. Natura acestor procese și factorii lor de influență sunt strict specifici fiecărui tip de aliaj.

Exemple practice ale tratamentelor termice de precipitare și speciale:

- ***Aliajul de tipul 0,35% C-1%Mn-1,5%Cr-8%W-2%Co-87%Fe,*** folosit pentru încărcarea muchiilor tăietoare ale ștanțelor.

  Proprietăți în stare sudată: Duritate de **45 HRC**; structura permite prelucrarea prin procedee speciale de așchiere;

Tratament de precipitare: Încălzire la **550°C + 20°C** timp de **1h ± 0,1h**, urmată de răcire în cuptor;

Efecte: Crește duritatea la ~**55 HRC**, asigură o bună rezistență la uzare abrazivă și stabilitate dimensională. Procesul cumulează precipitarea carburilor de W și a compușilor intermetalici pe bază de Co cu detensionarea materialului de bază (oțel carbon sau slab aliat).

- ***Aliajul de tipul 0,03%C-18%Ni-4,5%Mo-11%Co-0,2%Ti-0,01%N_2-66,5%Fe,*** folosit pentru încărcarea matrițelor.

Proprietăți în stare sudată: Duritate redusă **(30 HRC)** și structură de turnare din martensită moale (datorată carbonului scăzut și alierii controlate). Permite o așchiere ușoară;

Tratament de precipitare: Menținere timp de **3–7 ore la 480°C**;

Efecte: Provoacă precipitarea fină și dispersă a compușilor intermetalici (Ni-Mo și Ni-Ti). Duritatea crește substanțial până la **55 HRC**, menținând în același timp o alungire (ductilitate) excelentă, rezistență la uzare și stabilitate dimensională.

Utilizarea acestui aliaj în condiții de tratament menționate mai înainte, permite fabricarea prin încărcare a unor scule ușor prelucrabile prin așchiere, cu o bună rezistență la uzare și o bună stabilitate dimensională.

- ***Aliajul de tipul 1,25%C-17%Cr-4,5%W-2,5%Mo-1%Ni,*** pentru încărcărcarea suprafețelor active ale cuțitelor pentru debitat bare la cald:

Proprietăți în stare sudată: Duritate de **40 HRC**;

Tratament de precipitare: Încălzire la **930°C ± 10°C** timp de **1h ± 0,5h**, urmată de răcire în aer;

Efecte: Crește duritatea cu ~**25%**, însă induce o tendință pronunțată de fragilizare a structurii austenito-feritice. Fragilizarea este cauzată de

precipitarea și aglomerarea masivă a carburilor (în special de W și Mo) la limita grăunților cristalini.

Strategie de exploatare:

Abraziune sub presiune medie/ridicată: Temperatura de lucru trebuie să fie strict inferioară celei de precipitare pentru a preveni fragilizarea și cedarea prematură;

Abraziune sub presiune scăzută: Se recomandă aplicarea tratamentului pentru maximizarea durității și durabilității în serviciu.

Duritatea depunerilor în stare sudată este de circa 40 HRC. Tratamentul termic de precipitare (930 ± 10^0C/1±0,5h/aer) are ca rezultat o creștere a durității cu circa 25%. Aceasta este însoțită de o pronunțată tendință de fragilizare a depunerilor austenito-feritice, prin precipitarea și aglomerarea la limita grăunților cristalini a unor mari cantități de carburi, în mod deosebit de W și Mo de culoare neagră.

Tratamente speciale (Ex: Nitrurarea)

Tratamentele speciale sunt utilizate pentru depășirea limitelor de performanță ale proceselor clasice. De exemplu, aplicarea **nitrurării** pe aliajul **Fe-Ni-Co-Mo-Ti** aflat deja în stare precipitată determină — datorită prezenței aluminiului în compoziție — o creștere suplimentară a durității superficiale până la aproximativ **61 HRC**.

8. EXEMPLE DE TEHNOLOGII DE PIESE ÎNCĂRCATE PRIN SUDARE

Procedeul de fabricație prin încărcare cu sudură a cunoscut o dezvoltare multilaterală, fiind utilizat aproape în toate ramurile industriale. Aceasta se datorează în principal avantajelor pe care le conferă procesului de producție și produselor în sine [1]. Dintre ele se remarcă:

- Utilizarea unui procedeu simplu și rapid, sudarea;
- Obținerea unor piese ieftine, în general din oțeluri carbon sau slab aliate, protejate în zona suprafețelor de lucru cu materiale speciale, care le conferă durabilități în exploatare la nivelul celor executate integral din acestea din urmă;
- Mărirea durabilității în exploatarea unor piese intens și diferențiat solicitate cu până la 1200%, prin încărcarea acestora cu materiale adecvate condițiilor locale de solicitare. Acest fapt permite în unele cazuri o reducere semnificativă a timpilor de exploatare a unor utilaje cu pondere mare în producție [1].

Tehnologia de fabricație prin încărcare cu sudură a debavuratoarelor pentru prelucrare la cald

Debavurarea pieselor forjate sau presate la cald se execută în prezent pe scule specializate, confecționate din blocuri de oțeluri aliate tip MoCN15 sau VMoCN17 (SR EN ISO 4957) [1].

Cerințele actuale și de perspectivă de economisire a materialelor deficitare au condus la elaborarea unor tehnologii de realizare a debavuratoarelor în variante mai economice [1].

Dintre acestea în ultima perioadă s-a impus tot mai mult procedeul de fabricare a debavuratoarelor prin încărcare cu sudură datorită facilităților pe care le conferă produsului și anume:

- Economie de oțel aliat de scule, prin înlocuirea acestuia cu oțel carbon de calitate și încărcarea suprafețelor active ale acestora cu materialele termostabile cu o bună rezistență la uzare la abraziune , cu șocuri moderate de tipul metal pe metal; [1]
- Rapiditate în execuție și recondiționare prin eliminarea unor faze clasice din procesul de fabricație a debavuratoarelor și utilizarea unui procedeu rapid și eficient, încărcarea prin sudare;
- Fiabilitate și disponibilitate ridicate, datorită realizării muchiilor tăietoare din materiale cu caracteristici superioare.

8.1. Particularități de exploatare

În exploatare debavuratoarele sunt supuse la solicitări complexe. Muchiile tăietoare și suprafețele active sunt în contact intermitent cu semifabricatul de prelucrat, care are temperatură ridicată de până la 850^0 C și suprafață rugoasă bogată în oxizi metalici.

Materialul din zona muchiilor tăietoare este supus la abraziune cu șocuri moderate, combinată cu coroziune prin oxidare la temperaturi ridicate, de maxim 550^0 C și oboseală termo-mecanică iar cel din zonele adiacente preponderent la întindere, compresiune [1].

8.2. Concepția structural-constructivă

La concepția structurală a debavuratoarelor se au în vedere în principal solicitările din exploatare. Deci se urmărește prescrierea încă din proiectare a unor structuri care să asigure în exploatere o rezistență bună la solicitările

specifice diferitelor zone ale debavuratoarelor și care diferă semnificativ între ele [1].

În zona muchiilor tăietoare se impune utilizarea unor materiale dure și tenace, bogate în carburi de volfram sau molibden și termostabile până la 550^0 C iar în zonele adiacente acestora, materialele cu o bună rezistență la întindere-compresiune, ca de exemplu oțeluri cu conținut ridicat de carbon. În zona muchiilor aceste deziderate sunt satisfăcute, de depunerile constituite dintr-o matrice cu granulație fină din martensită aliată cu elemente termostabilizante și austenită reziduală, aliată eventual cu nichel și din carburi complexe de crom-volfram sau crom-molibden, uniform distribuite în întreaga masă a acestora [1]. În zonele adiacente sudării se preferă un oțel de îmbunătățire cu temperatura de menținere la revenire de minim 550^0 C.

La proiectarea formei constructive a debavuratorului se are ca obiectiv principal stabilirea modului de protecție și consolidare a suprafețelor active. În acest scop se au în vedere două etape și anume:

1. Proiectarea configurației geometrice a depunerii;
2. Elaborarea modului de pregătire a suportului în vederea încărcării acestuia, fază minimalizată frecvent de unii proiectanți.

Investigațiile efectuate asupra debavuratoarelor deteriorate în exploatare, pentru stabilirea defectelor tipice ale acestora, au evidențiat degradarea suprafețelor active prin fisuri și ciupituri, care apar pe o distanță de 2-3mm de la muchia tăietoare. Pentru stabilirea configurației depunerii această valoare trebuie majorată cu o grosime echivalentă cu cea a stratului influențat structural, datorită diluției dintre metalul de bază și cel de adaos. Această grosime este de circa 5 mm pentru cazul încărcării electrice cu electrozi înveliți de Ø=4 mm. Dacă la aceste valori avem în vedere și adaosul de reascuțire de circa 3 mm, atunci depunerea va avea configurația și dimensiunile din figura 8.1.

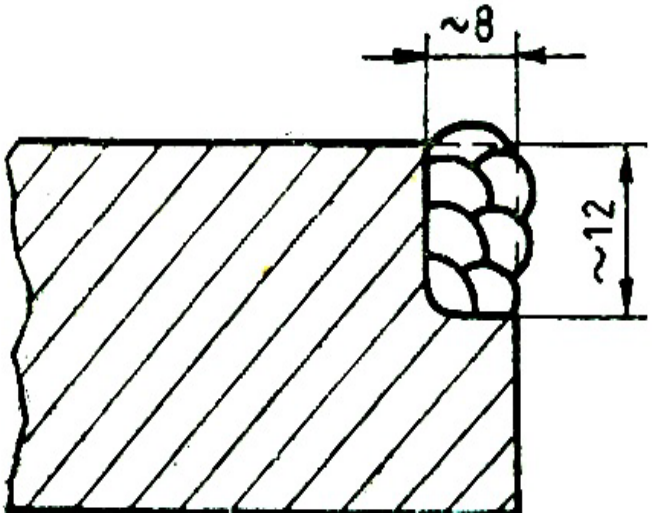


Fig. 8.1. *Configuraţia depunerii* [1]

Prin pregătirea suprafețelor suport, în vederea încărcării, se urmărește pe lângă curățirea acestora de diferitele impurități și profilarea acestora în așa fel încât să devină o bază bună a depunerii asigurând totodată preluarea fără risc de degradare a solicitărilor din exploatare [1]. Se menționează că unghiurile și adânciturile se vor rotunji în așa fel încât la încărcare să nu se producă o diluare a metalului depus prin topirea unor cantități suplimentare din metalul de bază. Acest fenomen poate să conducă la neomogenități chimice și structurale ale depunerii care pot compromite calitatea debavuratoarelor [1]. Din aceste considerente se recomandă o pregătire a suportului conform figurii 8.2.

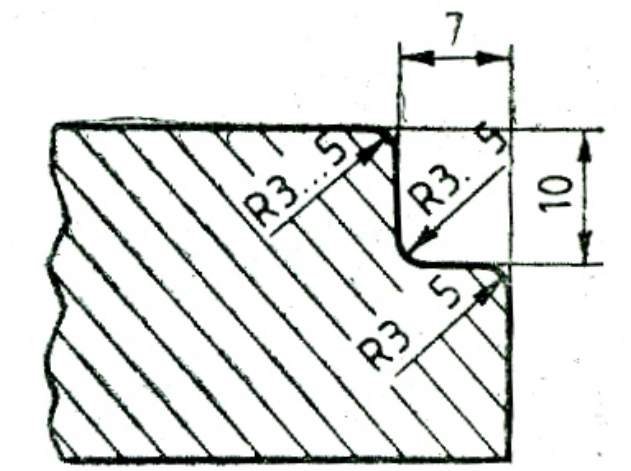


Fig. 8.2. *Modul de pregătire a suportului depunerii* [1]

8.3. Stabilirea ansamblului materialde adaos-material de bază

Materialele care concură la realizarea ansamblului debavurator bimetalic trebuie să îndeplinească două condiții și anume:

- Să satisfacă cerințele stabilite la elaborarea concepției structurale;
- Să fie compatibile la încărcare prin sudare și la tratament termic.

O verificare în exploatare a diferitelor materiale din producția internă a evidențiat însușiri corespunzătoare scopului urmărit la următorul cuplu: material de adaos EICr2, 5W4, 5V (STAS 1125/6-82), tipul EH3;

Material de bază oțelul carbon de calitate OLC35 (STAS 880-88). Structura metalului depus cu electrozii EICr2, 5W, 4,5V, este formată din martensită cu austenită reziduală și carburi complexe uiform distribuite, iar duritatea asociată este de circa 55 HRC. Depunerile sunt termostabile până la 550° C [1].

Rezistența la rupere a oțelului OLC 35, în stare îmbunătățită, este cuprinsă între 630 și 780 N/mm^2.

8.4. Tehnologia de încărcare și tratament termic

Elaborarea și conducerea proceselor de încărcare și tratament termic se face în funcție de cele două situații distincte mai des întâlnite la utilizarea debavuratoarelor și anume:

- În stare sudată sau sudată și detensionată;
- În stare călită și revenită.

În primul caz se utilzează un suport (material de bază) în stare îmbunătățită, iar prelucrarea de profilare se face prin șlefuire sau electroroziune.

În cazul al doilea se utilizează un suport în stare recoaptă, iar prelucrarea se face prin așchiere. În acest scop debavuratorul, încărcat este supus unui tratament termic de recoacere de înmuiere, figura 8.3., iar după aplicarea prelucrărilor prin așchiere acesta este călit și revenit [1].

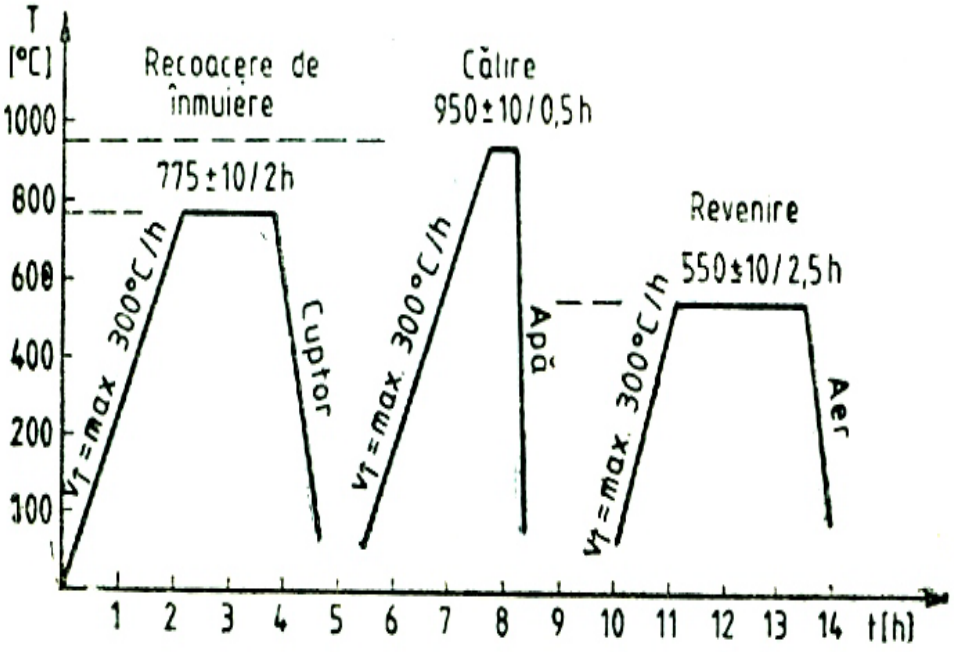


Fig. 8.3. *Diagrame de tratamente termice ale depunerilor prin sudare cu arc* [1]

Ordinea de sudare se stabilește în așa fel să conducă la debavurator la tensiuni și deformații minime, pe cât posibil echilibrate [1]. Înainte de sudare electrozii se usucă obligatoriu 2 ore la 250°C. Temperatura de preîncălzire prescrisă de producătorul de electrozi și stabilită prin încercări succesive la 400^0 C, se menține pe tot parcursul încărcării.

Ordinea de depunere a rândurilor de sudură este cea indicată în figura 8.4.

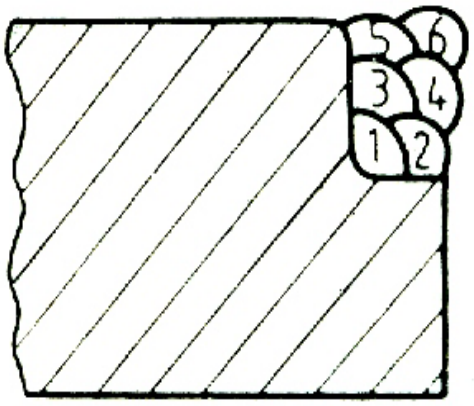


Fig.8.4. *Ordinea de depunere a rândurilor de sudură*

Răcirea debavuratoarelor se face în aer liniștit iar tratamentele termice conform figurii 8.3. (Diagrame de tratamente termice ale depunerilor prin sudare cu arc) [1].

8.5. Tehnologia de fabricare prin încărcare cu sudură a cămășilor de expandor pentru cauciuc

Cămășile expandoarelor pentru cauciuc sunt piese tubulare cu diametrul de circa 300 mm și lungimea de 300-400 mm. Ele sunt executate din oțeluri inoxidabile de tipul18/8, marca 10TiNiCr180 (SR EN 10088). Aceste

piese au o durabilitate redusă, uzura manifestându-se în interiorul cămășilor datorită condițiilor severe de exploatare [1].

Acest fapt duce la imobilizarea, în perioada de reparație, a unor importante capacități de producție. Cerințele de economisire a materialelor deficitare și de creștere a duratei de utilizare neîntreruptă a instalațiilor de fabricare a cauciucului au condus la elaborarea unor tehnologii de realizare a cămășilor de expandor în varianta bimetal, prin încărcare cu sudură și a unor materiale adecvate acestui scop.

Implementarea noii tehnologii permite mărirea de circa 3 ori a durabilității în exploatare a cămășilor încărcate. Acest fapt concură la obținerea unor economii de oțeluri inoxidabile de circa 200% față de varianta de fabricare și utilizare a cămășilor omogene din oțel inoxidabil și la un însemnat spor de produse din cauciuc.

SOLICITĂRI

În timpul exploatării, suprafețele active ale expandatorului sunt supuse acțiunii cumulate a mediului agresiv din punct de vedere chimic, cauciucul prelucrat având un pH cuprins între 2 și 4, combinată cu solicitări de uzare prin zgâriere, așchiere datorită deplasării cauciucului prin expandor și contactului direct dintre cămașă și melcul în mișcare de rotație.

Temperatura de suprafață are valori cuprinse între 150 și 250°C, iar anumite vârfuri pot să ajungă până la 600°C [1].

Presiunea pe suprafața de frecare este neuniformă, având tendință de creștere în zonele șuruburilor racloare [1].

Tensiunile apărute la fabricația cămășii, se suprapun cu tensiunile apărute în exploatare, starea de tensiune din cămășile expandorului fiind deosebit de complexă, materialele fiind supuse la oboseală [1].

În aceste condiții degradarea suprafețelor de contact, este provocată de procese de uzare prin adeziune, combinată cu abraziune și coroziune chimică, preponderentă fiind uzarea prin abraziune datorită frecării cauciuc pe metal și metal pe metal.

8.5.1. CONCEPȚIA STRUCTURAL-CONSTRUCTIVĂ

Concepția structurală a cămășilor de expandor are în vedere în principal solicitările concrete din exploatare. Deci se urmărește prescrierea încă din proiectare a unor structuri care să asigure o rezistență bună la solicitările specifice ale diferitelor zone ce alcătuiesc cămășile de expandor. Astfel, pentru încărcarea suprafețelor active, în literatura de specialitate se recomandă, în funcție de condițiile concrete de solicitare, o gamă foarte mare de materiale pentru încărcare.

Aceste materiale au totuși în comun două caracteristici și anume: sunt inoxidabile și au un domeniu îngust de utilizare rațională.

Caracteristicile materialelor utilizabile sunt impuse de modul de solicitare, specific fiecărui tip de expandor și de faptul că fiecare utilaj în parte are caracteristici distincte.

În acest context, la abordarea problemei alegeriii materialelor de adaos, trebuie urmărit ca metalul depus prin sudare să fie prelucrabil prin așchiere și să prezinte o rezistență superioară la uzare prin abraziune, combinată cu coroziunea chimică.

În vederea stabilirii caracteristicilor generale ce se impun pentru obținerea unor durabilități corespunzătoare s-au studiat standardele principalelor state industrializate și prospectele firmelor specializate în fabricarea de astfel de materiale [1].

Analiza acestor documente a evidențiat faptul că pentru condițiile de solicitare specifice expandoarelor de cauciuc sunt utilizabile două tipuri de aliaje și anume:

- Aliaje pe bază de cobalt și adaosuri de crom și wolfram; [1]
- Aliaje pe bază de fier cu adaosuri de crom, iar în unele cazuri cu nichel, molibden, vanadiu, volfram, titan și beriliu, cu preferință pentru volfram [1].

Având în vedere temperaturile relative reduse de exploatare a expandoarelor și prețul de cost ridicat al aliajelor pe bază de cobalt, cercetările efectuate în continuare s-au orientat în direcția studierii aliajelor de tipul Fe-Cr, cu de la 10% până la 35% Cr.

Conținutul de carbon al acestor depuneri este fixat în limite largi (1,0÷3,5%), iar rezistența la abraziune crește cu crșterea conținutului de carbon, în timp ce rezistența la coroziune scade.

Wolframul este cuprins în limite largi, de la 0,5 % până la 12 %. În cazul oțelurilor inoxidabile acest element provoacă creșterea caracteristicilor mecanice, fără însă a modifica rezistența la coroziune.

Molibdenul poate înlocui Wolframul, deoarece formează același tip de carbură dublă.

Duritatea este o caracteristică foarte importantă a acestor aliaje. Wolframul și Cromul sunt probabil elementele hotărâtoare din acest punct de vedere datorită vitezelor reduse de difuzie al acestor atomi, carburile complexe nu se dizolvă și rămân înglobate în masa depunerii [1]. Prezența carburilor de crom și wolfram și duritatea ridicată a acestor aliaje, determină ca depunerile să prezinte o bună rezistență la uzarea prin abraziune [1].

În cazul oțelurilor inoxidabile, alierea cu bor face posibilă ridicarea caracteristicilor de rezistență dar are influență negativă asupra rezistenței la coroziune. Având în vedere cele prezentate, se poate trage concluzia că în

scopul încărcării cămășilor de expandor, solicitate în condiții specifice industriei de cauciuc, este recomandabil a se folosi aliaje de tipul C-W-Cr-Fe.

Orientarea spre un anumit aliaj s-a făcut prin consultarea datelor de prospect ale materialelor din producția internă și analizarea modului în care acestea răspund cerințelor enunțate înainte. În urma analizei efectuate s-a constatat că cel mai bun material pentru realizarea scopului urmărit este electrodul EICr17W10 de producție românească.

Experiența existentă în domeniul exploatării și confecționării expandoarelor pentru cauciuc a evidențiat posibilitatea utilizării ca material de bază pentru execuția cămășilor atât a oțelurilor inoxidabile de tipul 18Cr8Ni, prevăzute prin proiect, cât și a oțelurilor carbon sau slab aliate preconizate a fi utilizate în acest scop.

Înlocuirea oțelurilor inoxidabile cu oțeluri carbon este posibilă deoarece cămășile de expandor sunt solicitate la nivelul suprafețelor interioare, iar acestea sunt încărcate cu un strat rezistent la acțiunea mediului agresiv, metalul de bază având rolul de suport al metalului de adaos.

În aceste condiții, cercetările și experimentările efectuate s-au orientat spre utilizarea a două materiale de bază: oțelul 10TiNiCr130 (SR EN 10088) prescris de proiectantul utilajului și oțelul S355JR (SR EN 10025-2), propus de tehnolog [1].

Proiectarea constructivă are ca obiectiv în acest caz numai stabilirea grosimii depunerii, deoarece configurația acesteia este determinată de forma cilindrică a suprafeței de protejat.

Experimentările efectuate pe expandoarele din exploatare au evidențiat condiții de lucru (presiune de expandare etc.) la uzuri de până la 0,025% din diametrul cămășii. Această constatare justifică alegerea unei grosimi a stratului placat de 3÷4 mm.

Stabilirea ansamblului material de adaos-material de bază

Materialele utilizate trebuie să îndeplinească următoarele condiții: metalul depus trebuie să fie rezistent la oboseală și bun prelucrabil prin așchiere, dar să aibă și o rezistență bună la uzare și coroziune chimică. Compatibilitatea la realizarea unei depuneri cu grosime de 4÷5 mm trebuie să înlăture cauza defectelor din zona de trecere. Pentru straturile depuse se fac investigații metalografice și încercări sclerometrice [1].

8.5.2. TEHNOLOGIA DE ÎNCĂRCARE PRIN SUDARE

Înainte de încărcarea prin sudare suprafața pieselor se va curăța prin degresare cu solvenți organici pentru îndepărtarea murdăriei de pe suprafețe. Înainte de încărcarea prin sudare piesele se vor preîncălzi la minim 100°C, folosindu-se sudarea continuă circulară, în spirală cu pendularea electrodului de maxim 3 ori diametrul vergelei.

În timpul încărcării trebuie să verificăm temperatura de preîncălzire cu ajutorul unui termometru de contact, respectiv verificarea regimului de încărcare prin citirea curentului de sudare, a tensiunii arcului, a vitezei de sudare și a temperaturii între rânduri [1]. De asemenea se are în vedere și curățarea zgurii dintre straturi. După rectificare se verifică dacă profilul piesei este corespunzător. Obținerea unor piese noi prin încărcarea prin sudare este posibilă cu respectarea măsurilor prezentate anterior.

9. DEFECTELE DEPUNERILOR

Defectul reprezintă orice abatere de la standardele de calitate și specificațiile documentației tehnice de execuție a unui produs. Aceste neconformități pot fi de natură geometrică (formă și dimensiuni), vizuală (aspect) sau internă (structură și continuitate). Atunci când apar la piese recondiționate prin încărcare, defectele de formă, dimensiune sau aspect, acestea modifică geometria constructivă originală, reducând sever rezistența la uzare a componentelor în timpul exploatării.

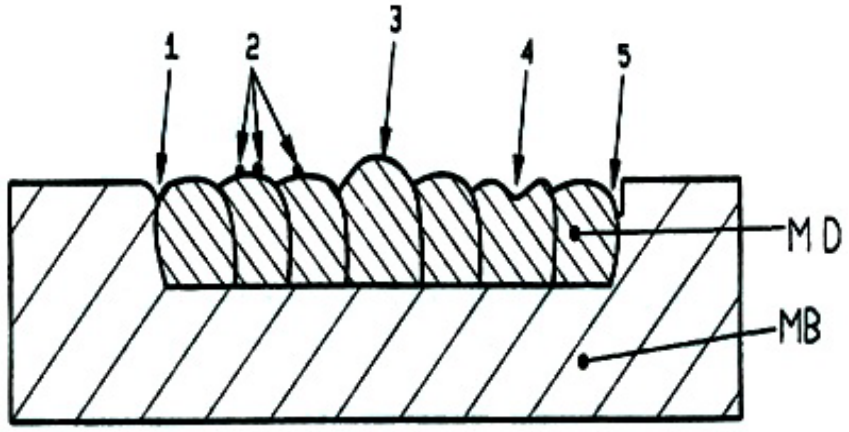


Fig.9.1. *Defecte de formă, dimensiune sau aspect*: [4]

1–crestătură marginală; 2–stropi; 3–îngroșare excesivă; 4–retasură; 5–defect de poziționare; MD–metal depus; MB–metal de bază

Defectele de formă, dimensiune și aspect constituie abateri geometrice și vizuale macroscopice de la documentația tehnică a piesei încărcate. Acestea includ deformări termice, ovalizări, neregularități ale cordonului de sudură (crestături, exces de pătrundere) sau neuniformități ale suprafeței depuse. Prezența lor modifică profilul constructiv original al componentei recondiționate și generează factori de tensiune. Ca urmare, aceste abateri

împiedică asamblarea corectă, îngreunează sau compromit prelucrarea ulterioară prin așchiere și accelerează uzura prematură în timpul funcționării. Defectele din această categorie se pun în evidență prin control vizual.

Defectele structurale prezintă cel mai ridicat nivel de periculozitate, diminuând drastic rezistența la uzare a componentelor recondiționate.

- **Cauze principale:** Degradarea caracteristicilor fizico-chimice ale materialelor (de bază sau de adaos), nerespectarea parametrilor tehnologici de sudare sau abateri geometrice ale piesei înainte și după încărcare;
- **Metode de investigare:**
  - *Analiza metalografică* (metodă de bază pentru identificarea exactă a fazelor și constituenților structurali);
  - *Încercările sclerometrice* (măsurarea durității pentru obținerea de informații orientative).

Defectele de continuitate (ex: fisuri, lipsuri de topire, incluziuni de zgură sau goluri) acționează ca amorse ale proceselor de degradare și uzare prematură.

- **Golurile (pori, sufluri):** Sunt discontinuități cavitare generate de următorii factori:
  - Umiditatea excesivă din atmosfera de sudare sau din fluxuri și electrozi;
  - Necurățarea suprafețelor de bază de oxizi, grăsimi, impurități etc.;
  - Regim neadecvat de sudare și viteze de răcire foarte mari;
  - Concentrații ridicate de elemente precum sulf, fosfor în materialul de bază sau de adaos.
- **Metode de examinare și control:**
  - *Metode nedistructive (NDT):* Control cu radiații penetrante (Rx sau Gamma) sau ultrasunete pentru defecte interne.
  - *Examinare vizuală:* Aplicată exclusiv pentru golurile și porii de la suprafață.

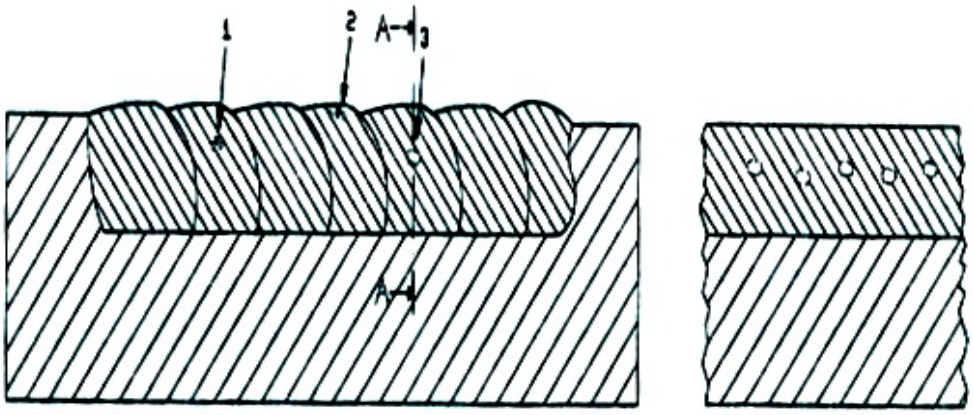


Fig. 9.2. *Goluri* (sufluri) [4]
1–sufluri grupate; 2–sufluri de suprafață; 3–sufluri aliniate

Incluziunile de zgură sunt impurități nemetalice în baia de sudură, care au rămas în material după solidificare.

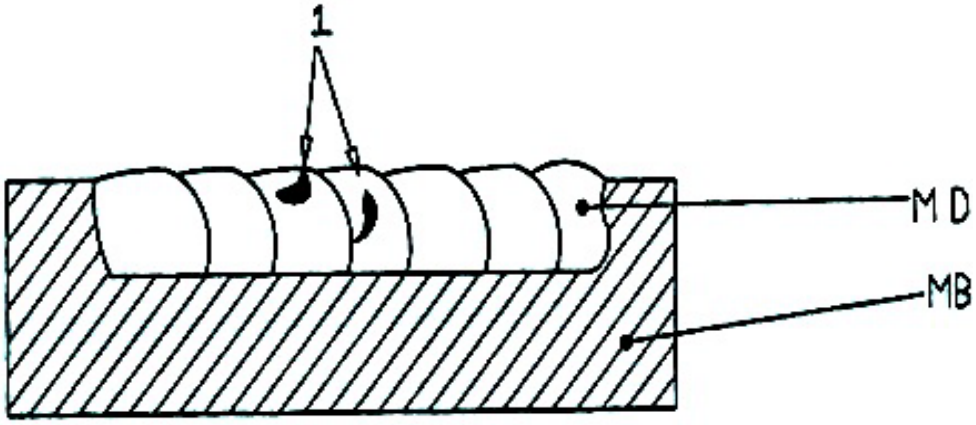


Fig. 9.3. *Incluziuni în materialul depus* [4]

- **CAUZE PRINCIPALE:**
  - Vâscozitatea ridicată a materialului de adaos;
  - Temperatura insuficientă a băii de sudare (aport termic scăzut);
  - Manipularea incorectă a electrodului sau lipsa de acces în zona îmbinării;
  - Execuția sudarii la temperaturi ambiante scăzute, fără preîncălzire.

• Metode de investigare: Detectarea și localizarea incluziunilor se realizează prin examinări nedistructive (NDT), utilizând *controlul cu radiații penetrante* sau *cu ultrasunete*.

Lipsa de topire este un defect de continuitate care constă în lipsa unei legături metalice între metalul depus prin sudare și metalul de bază, sau între cordoanele succesive de sudură.

- **CAUZE PRINCIPALE:**
  - **Curent de sudare prea mic** sau tensiune prea joasă, care nu asigură temperatura necesară topirii;
  - **Viteză de sudare prea mare**;
  - **Necurățarea suprafeței:** Prezența oxizilor, a ruginii sau a țunderului, care acționează ca o barieră termică și chimică;
  - **Tehnica de sudare defectuoasă:** Unghi incorect de înclinare al electrodului sau pistoletului, determinând direcționarea greșită a arcului;
  - **Unghiul de deschidere îngust al rostului**, împiedicând accesul fizic al electrodului la baza piesei.

Metode de detectare:

- *Defectoscopie cu ultrasunete (UT):* Cea mai eficientă metodă pentru identificarea lipsei de topire;
- *Control cu radiații penetrante (RT):* Folosit pentru depistarea defectului, deși este mai puțin sensibil decât ultrasunetele la acest tip de defect.

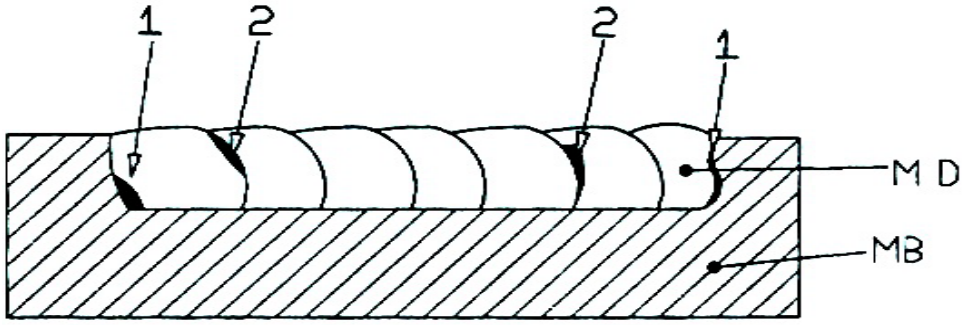


Fig.9.4. *Lipsa de topire*:
1–lipsă de topire laterală; 2–lipsa de topire între rânduri [4]

Fisurile. Sunt discontinuități liniare macro sau microscopice produse prin ruperea locală a materialului, sub efectul tensiunilor interne care depășesc rezistența materialului respectiv. Sunt considerate cele mai periculoase defecte din sudură. În funcție de momentul și temperatura la care se formează, acestea se împart în:

- **Fisuri la cald:** Apar în timpul solidificării băii de sudură (la temperaturi ridicate). Sunt fisuri intercristaline localizate de regulă în axul cordonului.

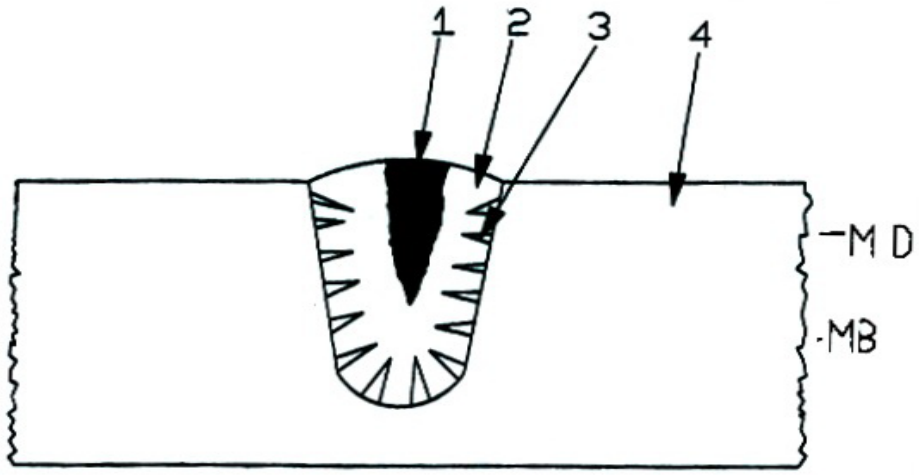


Fig. 9.5. *Fisură la cald*:
1–fisura; 2–metal depus; 3–dendrite; 4–metal de bază [4]

• **Fisuri la rece:** Apar după solidificarea completă și răcirea structurii (adesea sub 150°C, chiar și în câteva ore de la finalizarea sudării). Sunt localizate frecvent în ZIT sau în materialul de bază;

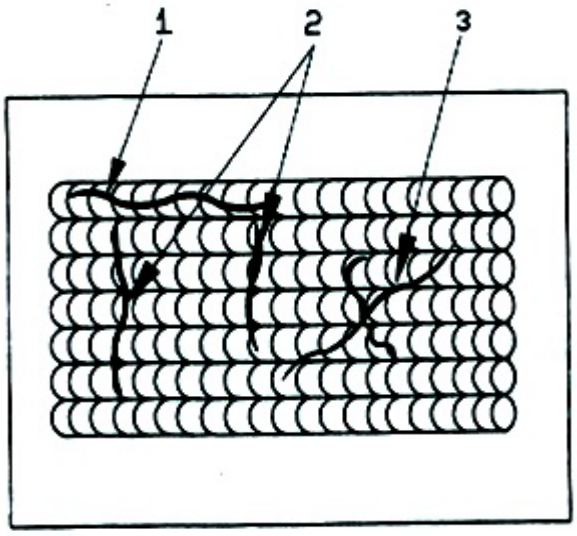


Fig. 9.6. *Fisura la rece*:
1–fisură longitudinală; 2–fisură transversală; 3–fisură ramificată [4]

• **Microfisuri:** Discontinuități microscopice, vizibile doar la microscop, cauzate de tensiuni locale mari.

CAUZE PRINCIPALE:

- **Conținut ridicat de elemente dăunătoare** (sulf, fosfor) care formează eutectice fuzibile la granița cristalelor (favorizează fisurile la cald).
- **Prezența hidrogenului difuzibil:** Pătrunderea hidrogenului în baie, din cauza umidității (electrozi necalcinați, rugină, condens etc.) se acumulează în rețeaua cristalină și creează presiuni interne (favorizează fisurile la rece).
- **Lipsa preîncălzirii:** Răcirea mult prea rapidă a pieselor masive din oțeluri aliate sau cu conținut mediu/ridicat de carbon, ducând la structuri dure și casante (martensitice).

- **Rigiditatea structurală ridicată:** Piesele fixate rigid care nu permit contractarea liberă a metalului în timpul răcirii, generând tensiuni mecanice masive.

Metode de detectare:

- *Controlul vizual (VT):* Pentru fisurile macroscopice deschise la suprafață.
- *Controlul cu lichide penetrante (PT) sau particule magnetice (MT):* Metode excelente și foarte sensibile pentru vizualizarea fisurilor de suprafață sau sub-suprafață.
- *Defectoscopia cu ultrasunete (UT) și radiații penetrante (RT):* Pentru localizarea precisă a fisurilor interne, de adâncime.

Măsuri generale de prevenire a apariției defectelor depunerilor. Acestea se pot grupa în:

a) Măsurile din faza de pregătire implică curățarea riguroasă a suprafețelor, pregătirea geometrică a rostului, condiționarea materialelor de adaos și preîncălzirea pieselor;

b) **Măsuri în timpul procesului de sudare;** se urmăresc optimizarea parametrilor de regim, asigurarea protecției arcului și băii, aplicarea unei tehnici corecte de depunere și curățarea straturilor intermediare;

c) Faza finală de recondiționare; necesită răcirea controlată a componentelor și executarea unor tratamente termice post-sudare.

.

10. PROPRIETĂȚILE FIZICO-CHIMICE ALE DEPUNERILOR

Analiza proprietăților materialelor depuse prin încărcare presupune determinarea caracteristicilor fizico-chimice ale acestora. Printre principalele încercări standardizate aplicate se numără:

Determinarea compoziției chimice;

- Analiza structurală;
- Încercările de duritate;
- Încercările pentru determinarea rezistenței la uzare.

În figurile 10.1., 10.2. și 10.3., sunt prezentate, metodele de evaluare ale caracteristicilor de rezistență la uzare. Încercările menționate anterior pot fi efectuate și pe epruvete prelevate direct din piesele încărcate. În acest caz, pe lângă proprietățile fundamentale, se pot evalua viteza de uzare și intervalul de variație a acesteia, în funcție de geometria suprafețelor de uzare [4].

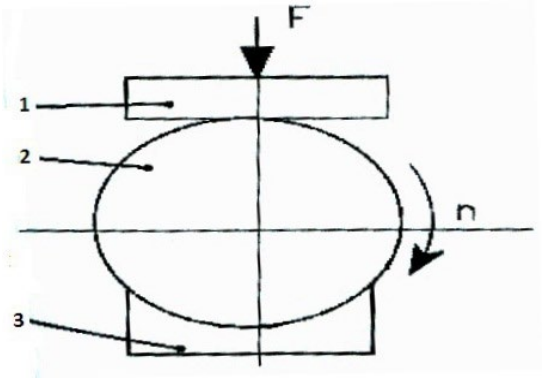


Fig. 10.1. P*rincipiul de determinare a rezistenței la adeziune prin rotații alternative la 120°*C:
1 și 2–epruvete de încărcat; 3–suport inferior; F–sarcina de apăsare a epruvetei dreptunghiulare pe cea cilindrică; n–turația mișcării alternative de rotație.

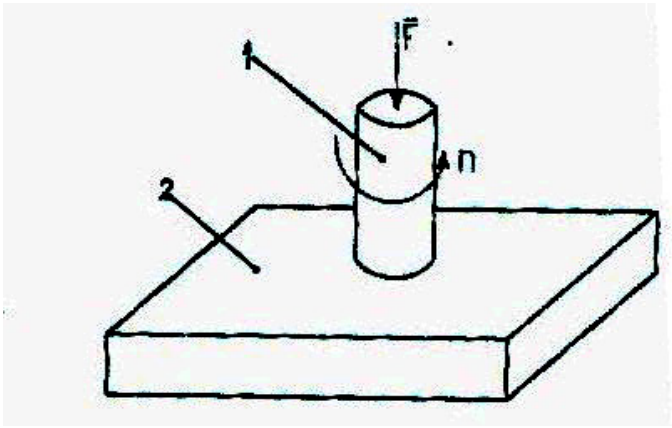


Fig.10.2. *Principiul de determinare a rezistenței la frecare metal pe metal*.

F–sarcina de apăsare a epruvetei cilindrice pe cea dreptunghiulară;
n–turația mișcării de rotație a epruvetei cilindrice;
1–epruveta cilindrică;
2–epruveta dreptunghiulară.

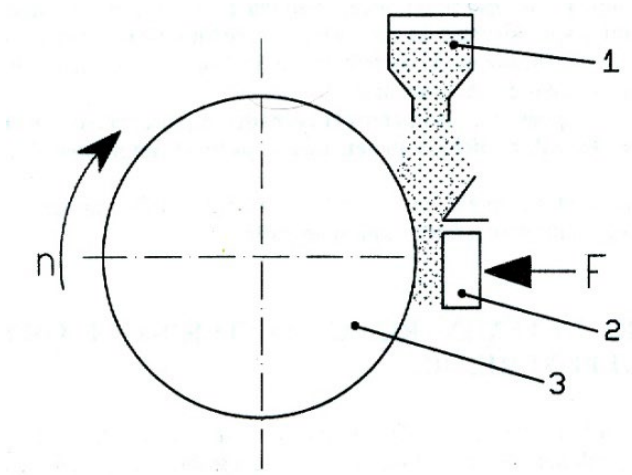


Fig. 10.3. *Principiul de determinare al rezistenței la abraziune*.

n–turația tamburului de cauciuc;
F–sarcina de apăsare a epruvetei 2 pe tamburul de cauciuc;
1–rezervorul cu nisip;
2–epruvetă de încercat;
3–tamburul rotativ din cauciuc.

10.1. Determinarea compoziției chimice

Compoziția chimică a metalului depus prin sudare poate fi determinată prin analiza pe cale umedă, utilizând așchii, sau pe cale spectrală, folosind epruvete sudate. În mod obișnuit, compoziția chimică a metalului depus se evaluează la recepția materialelor de încărcare, în condiții standardizate. În cazul depunerilor reale, situația diferă deoarece compoziția chimică este variabilă pe parcursul primelor trei straturi. Pentru a obține o imagine clară asupra conținutului de elemente chimice dintr-o anumită zonă și a modului de variație a acestuia, se utilizează o epruvetă adaptată acestui scop, realizată în trepte.

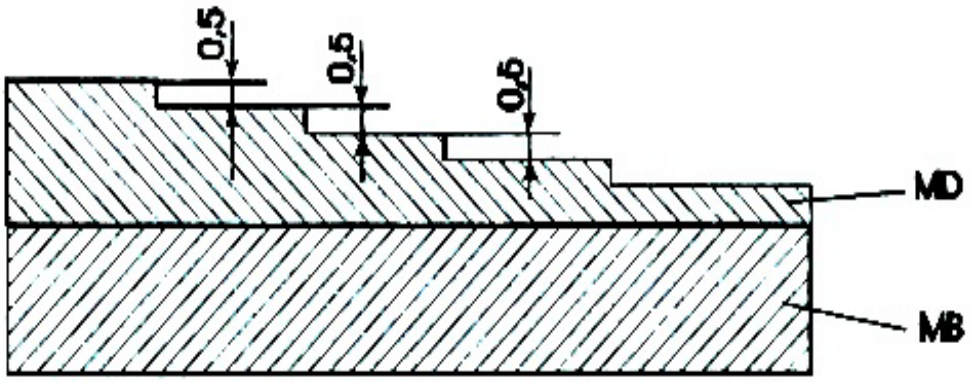


Fig.10.4. *Proba în trepte pentru determinarea compoziției chimice a metalului depus*:
MD-metal de depunere; MB-metal de bază [4]

Această probă este realizată astfel încât să reproducă fidel condițiile de fabricație a piesei încărcate. Procedeul de sudare, regimul termic de încălzire-răcire și parametrii tehnologici sunt identici cu cei prescriși pentru procesul de producție.

10.2. Analiza metalografică

Studiul metalografic se efectuează în conformitate cu standardul SR EN ISO 17639, vizând zonele caracteristice evidențiate în figura de mai jos.

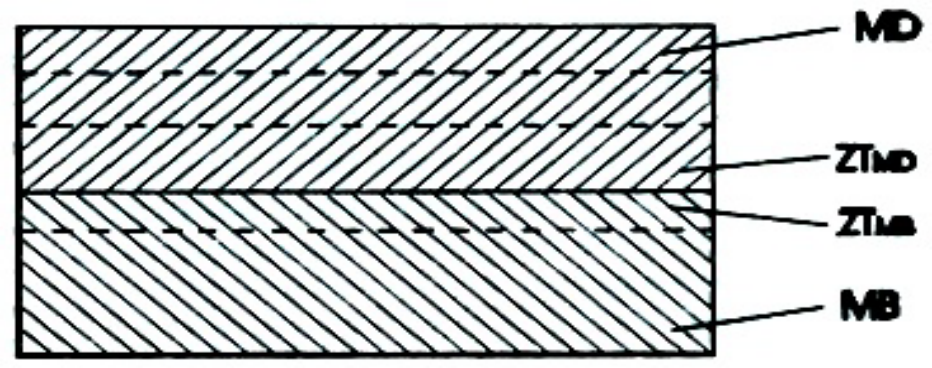


Fig. 10.5. *Proba pentru examinarea structurală a depunerilor:* MD–metal depus; ZT_{MD}–zona de trecere în metalul depus; MB–metal de bază; ZT_{MB}–zona de trecere in metal de bază [4]

Examinarea macroscopică se efectuează la măriri de până la 10×, pe epruvete prelevate din proba de analizat, fiind investigate atât zona depunerii, cât și cea a metalului de bază. Pe lângă aspectul general și geometria cordonului depus, analiza urmărește identificarea defectelor precum: fisuri, goluri, incluziuni nemetalice și adâncimea de pătrundere și uniformitatea acesteia. La nivelul metalului de bază, se evidențiază extinderea zonei influențate termic (ZIT) și eventualele defecte apărute în urma procesului.

Gradul de diluție (participarea metalului de bază) se evaluează în funcție de procedeul de sudare aplicat și de configurația geometrică a piesei încărcate. Investigarea fenomenelor care se produc la interfața dintre metalul topit și metalul de bază contribuie la clarificarea aspectelor legate de compatibilitatea metalurgică la încărcare a materialului de bază cu cel de adaos, pentru un anumit procedeu ales.

10.3. Încercările de duritate

Investigarea prin încercări de duritate urmărește următoarele obiective fundamentale:

- Caracterizarea durității globale a suprafețelor expuse uzării;
- Evaluarea profilelor de duritate în zonele specifice ale ansamblului piesă-epruvetă încărcată.

Duritatea straturilor depuse prin sudare se determină prin metoda Rockwell sau Brinell, direct pe epruveta în trepte. În schimb, analiza zonelor caracteristice în secțiune transversală se realizează, în mod curent, prin metoda Vickers, pe proba macroscopică. Pentru asigurarea preciziei măsurătorilor, suprafețele destinate încercărilor trebuie să fie plane, perfect netede și lipsite de defecte sau zone oxidate.

Încercarea la uzare prin abraziune pe disc rotativ cu hârtie de șlefuit

Încercarea se efectuează pe o instalație echipată cu două discuri abrazive (similară echipamentelor utilizate la lustruirea probelor metalografice), utilizând epruvete standardizate cu diametrul de 10 mm și lungimea de 30 mm. Procesul se desfășoară simultan pe ambele discuri, supunând abraziunii epruveta de analizat și epruveta de referință. După parcurgerea unei jumătăți din distanța totală de uzare, cele două epruvete sunt inversate între discuri, scopul fiind compensarea variațiilor calitative inerente ale hârtiei abrazive.

Înainte de începerea testului propriu-zis, fiecare epruvetă este supusă unui proces de rodare pe aceeași mașină, respectând regimul de lucru stabilit pentru încercare. Parametrii regimului tehnologic utilizați în mod curent sunt:

- Diametrul discului rotativ: 300 mm;
- Turația discului: 2550 rot/min;

- Avansul radial al epruvetei: 0,5 mm;
- Presiunea de contact (apăsare): 0,4 N/mm²;
- Distanța (parcursul) de uzare: 70 m pentru fiecare epruvetă.

Etapa de rodare se consideră finalizată în momentul în care se constată șlefuirea completă a suprafeței frontale a epruvetei. Rezultatele finale se exprimă prin raportul dintre uzura masică a epruvetei de referință din oțel OLC 60 (U_r) și uzura a epruvetei de analizat (U). Pentru a evidenția în mod direct rezistența la abraziune a materialului investigat, se determină durabilitatea relativă a acestuia (U_r/U), parametru ce reflectă comportamentul la uzare comparativ cu materialul etalon, în condiții identice de solicitare abrazivă.

10.4. Caracterizarea elementelor de aliere și impactul toxicologic al acestora

Prezentare generală a proprietăților fizice:

Tabelul 10.1.

Element chimic	Temp. topire (°C)	Temp. fierbere (°C)	Aspect și proprietăți fizice mecanice
Mangan (Mn)	1246	2061	Alb-murdar, similar fierului, casant (sfărâmicios)
Cobalt (Co)	1495	2900	Alb-argintiu cu nuanțe albăstrui, maleabil, feromagnetic (<1115 °C)

Element chimic	Temp. topire (°C)	Temp. fierbere (°C)	Aspect și proprietăți fizice mecanice
Crom (Cr)	1860	2200	Alb-cenușiu, dur, rezistent la oxidare ambientală
Fier (Fe)	1538	2862	Alb-cenușiu, ductil, maleabil, puternic influențat de carbon
Nichel (Ni)	1455	2900	Alb-argintiu, luciu caracteristic
Vanadiu (V)	1910	3407	Alb-argintiu, similar stibiului ca aspect, dur
Molibden (Mo)	2623	4639	Alb-argintiu, mat, ductil și maleabil
(Wolfram) Tungsten (W)	3422	5550	Cenușiu-argintiu, duritate extremă, cel mai înalt punct de topire

1. Manganul (Mn)

- **Proprietăți chimice:** Reprezintă 0,1% din scoarța terestră. Se găsește sub formă de oxizi (piroluzita - MnO_2; braunita - Mn_2O_3; hausmanita – Mn_3O_4), carbonați (rodocrozit ($MnCO_3$)) și silicați (rodonit ($MnSiO_3$)). Reacționează cu apa la temperatură ambiantă și este solubil în acizi diluați. Un compus major este permanganatul de potasiu ($KmnO_4$);
- **Aplicații industriale:** Agent de desulfurare și aliere în siderurgie (oțeluri durabile, rezistente la șoc), fabricarea bateriilor uscate (depolarizant) și sinteze chimice;

- **Impact asupra organismului:** Oligoelement esențial implicat în procese enzimatice și metabolismul vitaminelor (B_1, C și E). În concentrații mari este neurotoxic și afectează sistemul vascular.

2. Cobaltul (Co)

- **Proprietăți chimice:** Stabil în aer uscat la temperaturi normale; se oxidează la peste 300 °C;
- **Aplicații industriale:** Component de bază în oțeluri speciale (rapide) și superaliaje rezistente la temperaturi înalte;
- **Impact asupra organismului:** Constituent esențial al vitaminei (B_{12}).

3. Cromul (Cr)

- **Proprietăți chimice:** Prezintă stări de valență +2, +3 și +6. Compușii hexavalenți (cromații Cr^{IV}) au stabilitate industrială mare, dar și cea mai ridicată toxicitate. Rezistent la coroziune atmosferică;
- **Aplicații industriale:** Metalurgie (oțeluri inoxidabile, aliaje dure), acoperiri galvanice (cromare), pigmenți anticorozivi, cerneluri și tăbăcărie;
- **Impact asupra organismului:** Provoacă dermatite severe de contact (eczema de ciment/crom) și ulcerații ale mucoaselor. Compușii cromați, (Cr^{IV}) sunt recunoscuți ca agenți cancerigeni pulmonari.

4. Fierul (Fe)

- **Proprietăți chimice:** Se combină direct cu majoritatea nemetalelor (cu excepția azotului). În prezența aerului umed formează hidroxizi expansivi (rugină).
- **Aplicații industriale:** Elementul structural de bază în metalurgie pentru producția fontelor și oțelurilor.

5. Nichelul (Ni)

- **Proprietăți chimice:** Formează compuși organometalici extrem de toxici precum nichel-carbonilul $Ni(CO)_4$ - lichid volatil, incolor, instabil, care se descompune termic eliberând monoxid de carbon (CO);
- **Aplicații industriale:** Fabricarea oțelurilor inoxidabile, superaliaje, baterii reîncărcabile și acoperiri electrochimice;
- **Impact asupre organismului:** Expunerea la nichel generează frecvent dermatite alergice profesionale. $Ni(CO)_4$ are o toxicitate acută pulmonară severă.

6. Vanadiul (V)

- **Proprietăți chimice:** Inert la temperatura camerei în raport cu aerul și apa, reacționează energic cu oxigenul și azotul la temperaturi ridicate;
- **Aplicații industriale:** Element de microaliere în oțeluri structurale de înaltă rezistență și catalizator chimic;
- **Impact asupra organismului:** Riscurile profesionale apar prin inhalarea pulberilor în timpul curățării cazanelor industriale, arzătoarelor de petrol sau la procesarea minereurilor, afectând tractul respirator.

7. Molibdenul (Mo)

- **Proprietăți chimice:** Extras din molibdenit (MoS_2) și wulfenit ($PbMoO_4$). Are o rezistență termică remarcabilă;
- **Aplicații industriale:** Aliaje structurale pentru aviație și tuburi electronice, catalizatori chimici (sinteza amoniacului), pigmenți și fertilizatori;
- **Impact asupra organismului:** Formele metalice prezintă o toxicitate industrială foarte scăzută; inhalarea pulberilor nu generează efecte sistemice majore raportate.

8. Wolframul / Tungstenul (W)

- **Proprietăți chimice:** Extras din wolframit și scheelit. Are o densitate și o duritate foarte mari, fiind metalul cu cea mai redusă volatilitate;
- **Aplicații industriale:** Filamente pentru surse de iluminat, electrozi de sudare (TIG/WIG), carburi metalice pentru scule așchietoare și componente radiologice (anode Röntgen);
- **Impact asupra organismului:** Pulberile industriale pot genera afecțiuni respiratorii cronice manifestate prin tuse cu expectorație și fibroze pulmonare.

11. TEHNOLOGII DE ACOPERIRE TERMICA PRIN PULVERIZARE (METALIZARE)

Metalizarea prin pulverizare termică este un procedeu industrial de depunere a unui strat metalic protector prin topirea și proiectarea de mare viteză a materialului de adaos pe o suprafață sau piesă.

Procedeul a fost creat din două motive principale:

- **Combinarea materialelor dificile:** Permite protejarea pieselor care lucrează în condiții grele cu materiale care nu s-ar putea uni niciodată prin sudare clasică.
- **Protejarea pieselor sensibile:** Permite acoperirea pieselor subțiri sau foarte mici fără riscul de a le deforma sau topi prin căldură excesivă.

În funcție de materialul ales pentru pulverizare, stratul final poate proteja piesa împotriva uzării, coroziunii și a schimbărilor de temperatură.

- **Protecție anticorozivă:** Acoperirea structurilor din oțel cu zinc sau aluminiu (strat de obicei între 50 și 200 μm);.
- **Recondiționarea pieselor uzate:** Încărcarea și aducerea la cota inițială a arborilor, fuzetelor sau altor subansamble mecanice;
- **Scopuri decorative sau funcționale:** Metalizarea plasticului, a sticlei sau a compozitelor.

Avantajele procedeului:

- ✓ După metalizare nu vor apărea deformări sau tensiuni interne, deoarece piesa de bază suferă o încălzire redusă;
- ✓ Se pot realiza straturi oricât de groase;

- ✓ Stratul obținut este poros, permițând înmagazinarea lubrifiantului, micșorând frecarea la piesele aflate în mișcare;
- ✓ Permite alierea unor metale care în mod normal nu se pot alia când sunt topite (cum sunt plumbul și aluminiul).

Dezavantaje:

- ✓ **Proprietăți mecanice scăzute:** Stratul depus are o rezistență scăzută la încovoiere și întindere, având un comportament casant asemănător cu cel al fontei gri;
- ✓ **Limitări la prelucrare:** În materialul pulverizat nu se pot tăia filete sau canale de pană;
- ✓ **Lipsa de plasticitate:** Straturile nu suportă deformări plastice (forjare, îndoire sau laminare).

Clasificarea procedeelor (după sursa de căldură folosită la topire):

- ✓ **Cu gaze combustibile (oxigaz):** Topirea se face cu flacără produsă prin arderea unui gaz;
- ✓ **Cu arc electric:** Topirea se realizează prin căldura arcului electric format între două sârme;
- ✓ **Cu curenți de înaltă frecvență (inducție):** Topirea materialului se bazează pe încălzirea prin inducție electromagnetică;
- ✓ **Cu jet de plasmă:** Topirea și accelerarea se fac printr-un flux de plasmă la temperaturi extrem de mari.

Recondiționarea pieselor uzate, cu investiții minime și cu materiale ușor procurabile, nu se poate realiza decât prin primele două procedee.

În funcție de materialul de adaos, procedeele de recondiționare prin metalizare se clasifică astfel;

- Cu material de adaos sub formă de sârmă;
- Cu material de adaos sub formă de pulbere.

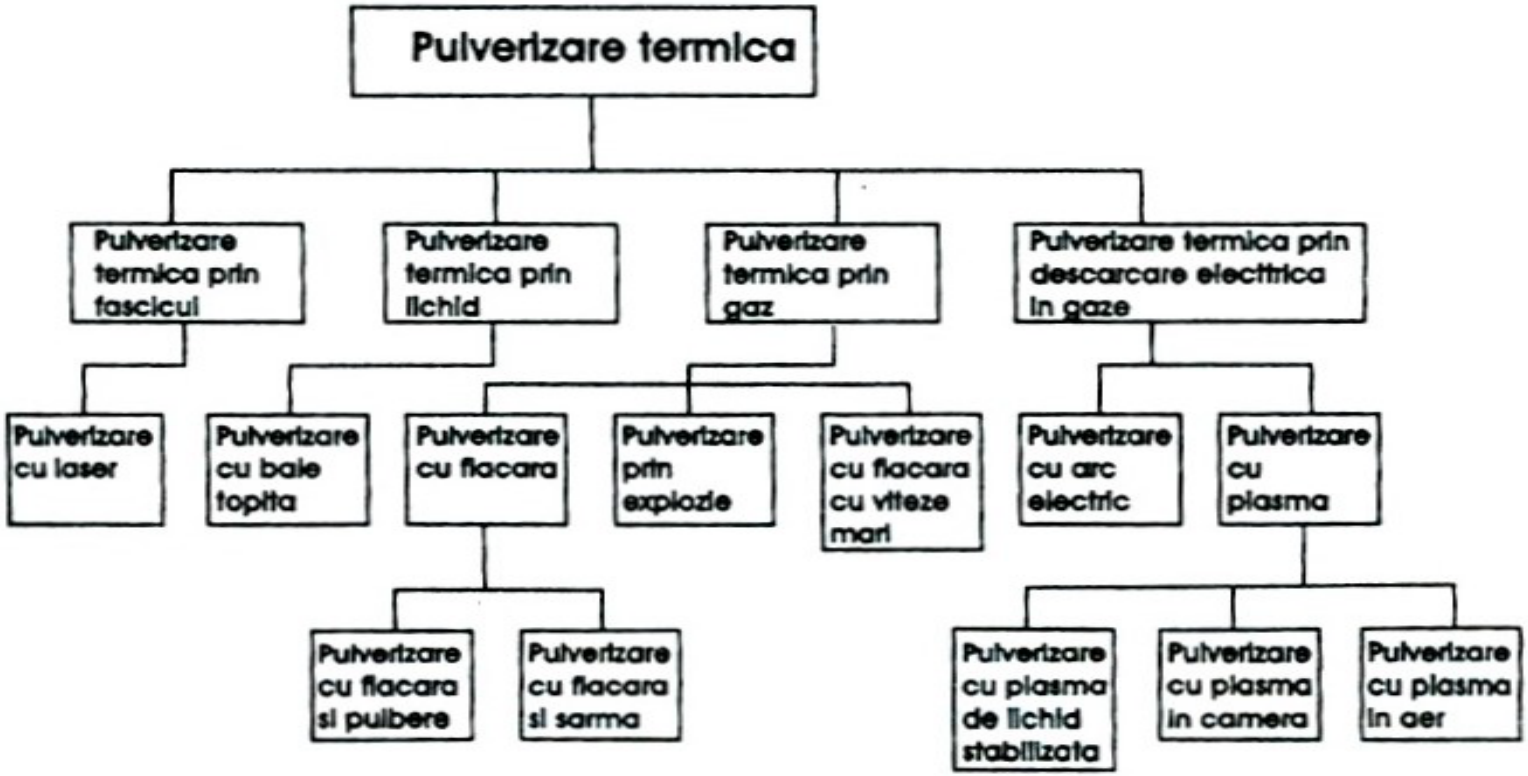


Fig. 11.1. *Clasificarea procedeelor de pulverizare termică după purtătorul de energie utilizat pentru pulverizare* [4]

11.1. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de sârmă topită în flacără oxiacetilenică

Dintre gazele combustibile, acetilena este cea mai indicată pentru topirea sârmei de adaos, deoarece:

- ✓ Produce cea mai înaltă temperatură de ardere;
- ✓ Se evită răcirea sau stingerea flăcării de către curentul de aer comprimat;
- ✓ se procură mai ușor .

O instalație de metalizare cu sârmă topită în flacără oxiacetilenică se compune din:

- ✓ Sursa de gaz combustibil;
- ✓ Sursa de aer comprimat;
- ✓ Filtre de purificarea aerului comprimat;
- ✓ Sursa de oxigen;
- ✓ Sistemul de reglaj și control;
- ✓ Sistemul de alimentare;
- ✓ Circuitul de conectare: Furtunuri flexibile care asigură legătura și transportul gazelor de la surse către aparatura de reglare și pistolul de pulverizare.

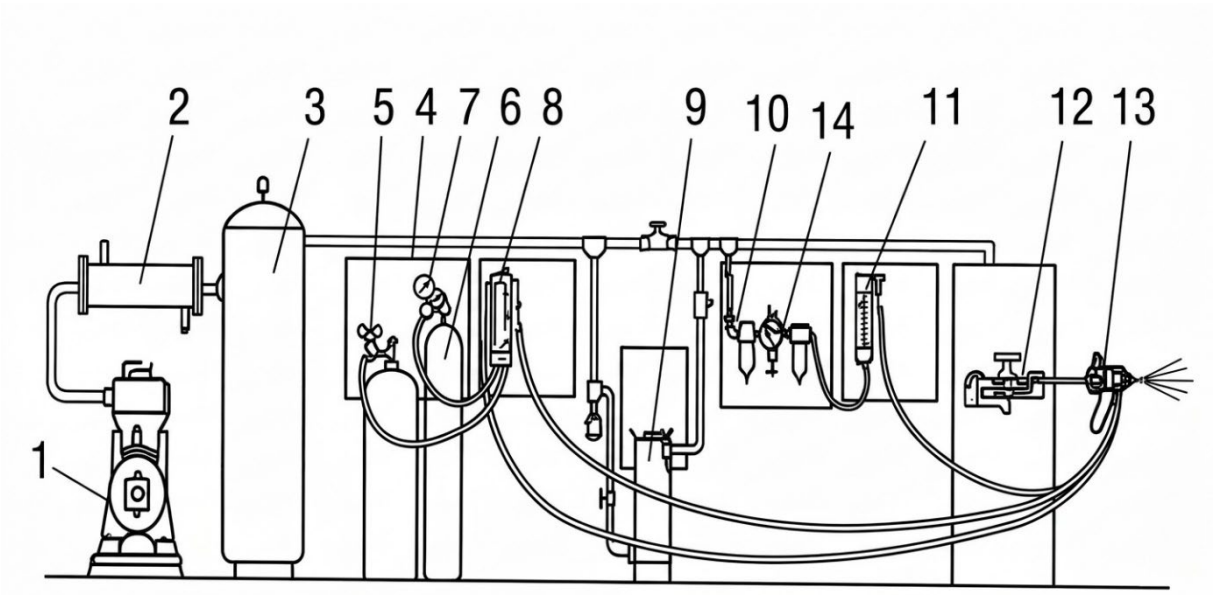


Fig.11.2. *Instalație de metalizare cu sârmă topită în flacără oxiacetilenică*

1–compresor de aer; 2–filtru uscător pentru aer comprimat; 3–butelie de aer comprimat; 4–butelie de acetilenă; 5–manometrul buteliei de acetilenă; 6–butelie de oxigen tehnic; 7–manometrul buteliei de oxigen; 8–debitmetrul pentruacetilenă; 9–filtru purificator de aer; 10–pupitru control parametrii aer comprimat; 11–debitmetru pentruaer comprimat; 12–suport de susținere șicurățare a sârmei de adaos; 13–aparat de topire și pulverizare a materialului de adaos; 14–purjare aer comprimat.

- **Sursa de aer comprimat:** Se alege conform cerințelor aparatului de pulverizare, asigurând o presiune minimă de **0,5 MPa**. Alimentarea se poate face prin două metode:
  - **Instalație centralizată:** Un sistem exclusiv pentru posturile de metalizare, proiectat să lucreze la presiuni joase;
  - **Compresor individual:** Un ansamblu independent dotat cu sisteme proprii de stocare, distribuție și dozare a aerului.
- **Filtrele de purificare:** Echipamente montate pe traseu pentru a elimina complet apa, uleiurile (grăsimile) și impuritățile solide din aerul comprimat, prevenind contaminarea stratului depus;
- **Sursa de oxigen:** Asigură alimentarea cu gaz fie direct din rețeaua generală, fie din butelii individuale de oxigen.

Sistemul de reglare și control al gazelor include:

-Regulatorul de aer, care realizează reducerea și menținerea valorii presiunii:

-Debitmetrul de aer, servește la reglarea debitului de aer;

-Reductorul de oxigen, care are rolul de a micșora presiunea oxigenului din butelii;

Suportul pentru susținerea sârmei, un schelet metalic pe care se așază sârma, antrenată de dispzitivul de pulverizare.

Aparatura de topire a metalului de adaos are rolul de a asigura avansarea, topirea și pulverizarea sârmei de adaos. În funcție de modul de utilizare acest aparat poate fi:

- De tip rotativ, numit și **pistolet de metalizare**;
- De tip staționar, fixat de obicei în portcuțitul mașinii de strunjit, pe care se execută operația de metalizare.

11.2. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de pulbere topită în flacără oxiacetilenică

O instalație completă pentru acest procedeu include următoarele componente:

- ✓ **Sursa de acetilenă:** Asigură gazul combustibil prin intermediul unui generator local sau din butelii de stocare;
- ✓ **Sursa de aer comprimat:** Ansamblu format din butelii de aer și filtre de purificare, utilizat pentru antrenarea și accelerarea particulelor;
- ✓ **Sursa de oxigen:** Furnizează oxigenul necesar susținerii arderii, din rețea sau din butelii;
- ✓ **Circuitul de alimentare (furtunuri):** Transportă gazele de la surse către echipamentul de lucru;
- ✓ **Sistemul de reglare și control:** Echipamente destinate monitorizării și ajustării presiunilor și debitelor de lucru;
- ✓ **Pistolul de topire și pulverizare:** Dispozitivul principal în care pulberea este introdusă, topită în flacără și proiectată pe piesă.

Toate acesoriile instalației sunt asemănătoare cu cele ale instalației de metalizare cu sârmă cu excepția aparatului de topire și pulverizare a pulberii. [4]

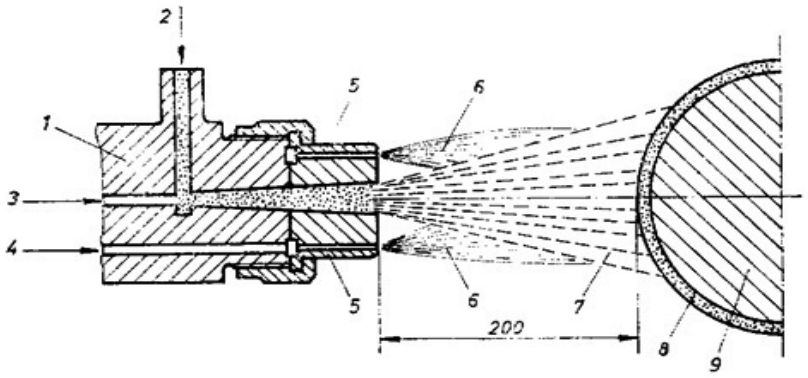


Fig.11.3. *Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de pulbere*

În corpul aparatului de metalizat 1 sunt executate canale pentru alimentarea aparatului cu pulbere 2, aer comprimat 3, amestec de oxigen și acetilenă 4 și duzele de pulverizare 5. Materialul de adaos, sub formă de pulbere 2, cade în corpul aparatului 1 și datorită presiunii aerului comprimat 3, este împins prin duzele 5 în conul de flacără 6, creat de arderea amestecului de oxigen și acetilenă. În aceste conuri de flacără 6, materialul de adaos sub formă de pulbere este topit și pulverizat într-un con de pulverizare 7. Materialul pulverizat se depune sub forma unui strat metalizat 8, pe piesa ce trebuie metalizată 9. Pentru ca acest procedeu să aibă o eficiență sporită, distanța dintre aparatul de metalizat și piesa de metalizat se alege de 200mm.

11.3. Procedeul de recondiționare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de sârmă topită în arc electric

Acest procedeu de recondiționare folosește ca sursă de căldură pentru topirea materialului de adaos, arcul electric.

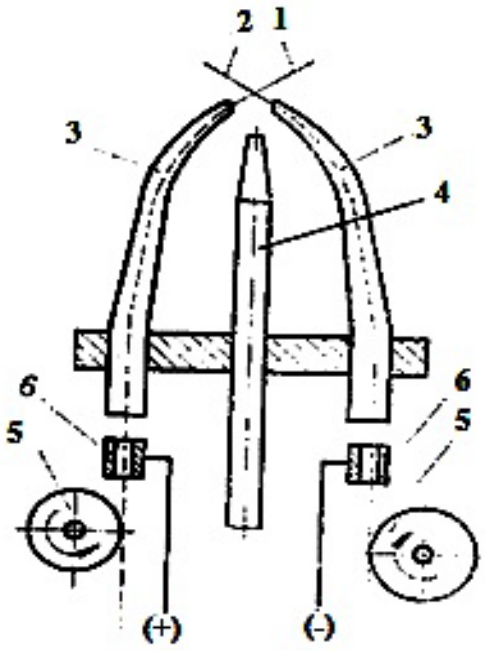


Fig. 11.4. *Aparat de topire și pulverizare prin arc electric*

Aparatul constă din două ghidaje tubulare curbate 3, prin care trec sârmele materialului de adaos 1 și 2. Mișcarea sârmelor 1 și 2 este imprimată de rolele 5 prin intermediul suporturilor de ghidare 6, care sunt conectate la o sursă de curent. Între cele două ghidaje 3, se găsește tubul 4, prin care aerul comprimat realizează pulverizarea metalului topit, rezultat în urma arcului electric. Aceste aparate pot funcționa atât in c.c. cât și în c.a.

Se recomandă folosirea c.c. deoarece aparatul funcționează mult mai uniform, realizând straturi metalizate omogene.

În afară de pistolul de pulverizare, o instalație de metalizare mai include:

- **Sursa de aer comprimat:** Compresorul și buteliile pentru stocarea aerului;
- **Sursa de curent electric:** Un aparat care produce curent continuu, cum ar fi un redresor sau un generator (grup electrogen).
- **Tabloul de comandă:** Panoul principal de unde se pornește, se oprește și se controlează întregul sistem.

Sursa de c.c. trebuie să sigure menținerea cât mai constantă a valorii tensiunii reglate, pentru a obține un arc electric cât mai stabil, realizând o intensitate de curent optimă pentru topirea aproape instantanee a sârmelor de adaos.

Tabloul electric de distribuție 1 îndeplinește următoarele funcții:

- ✓ Asigură o întârziere de 1,2÷1,5 s la pornirea motorului electric de avans al sârmelor;
- ✓ Asigură alimentarea cu curent electric de 24 sau de 12 V a motorului de avans al sârmei, de pe aparatul de metalizare;
- ✓ Prin modificarea turației motorului electric de avans, se asigură viteza de înaintare precisă pentru fiecare sârmă a materialului de adaos;
- ✓ Printr-un sistem de electrovalve se asigură pornirea sau oprirea aerului comprimat, precum și reglarea debitului și presiunii de lucru prescrise.

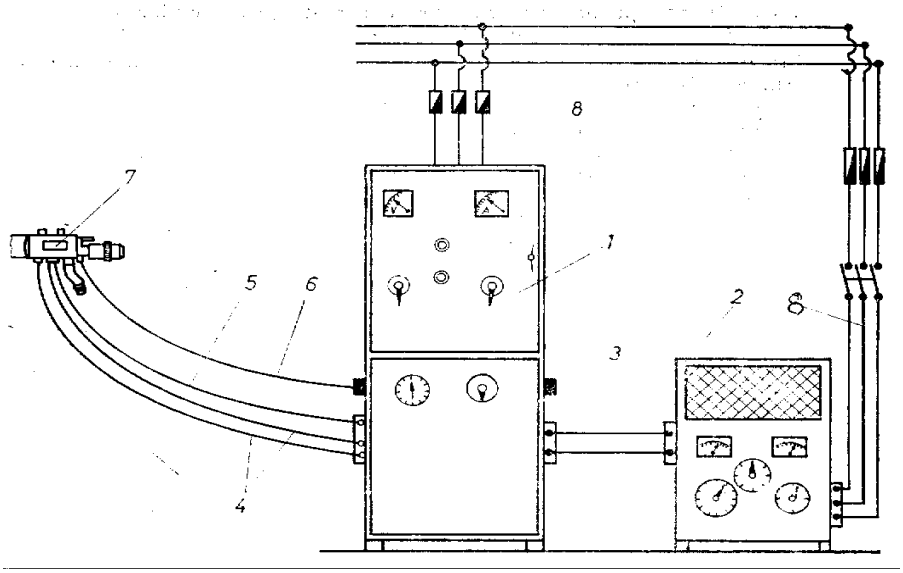


Fig.11.5. *Instalație de metalizare prin pulverizare cu material de adaos sub formă de sârmă topită în arc electric*

1–tablou electric; 2–redresor de sudare; 3–alimentarea cu aer comprimat; 4–cabluri de alimentare pentru aparatul de metalizare; 5–cablul de comandă pentru aparatul de metalizare; 6–furtun de alimentare cu aer a aparatului de metalizare; 7–aparat de metalizare; 8–sursă de alimentare cu curent

11.4. Tehnologia de recondiționare a pieselor prin metalizare

Etapele principale ale procesului tehnologic de recondiționare prin metalizare sunt:

- Controlul vizual al pieselor;
- Curățarea și degresarea;
- Controlul complex (fisuri, deformații, uzări etc.)
- Pregătirea suprafețelor de metalizat;
- Metalizarea propriu-zisă;
- Prelucrarea suprafețelor metalizate;
- Controlul final al piesei recondiționate;
- Conservarea, depozitarea sau montarea piesei recondiționate.

Pregătirea suprafețelor de metalizat *este cea mai importantă etapă din întregul proces tehnologic. Calitatea execuției sale determină direct rezistența și aderența stratului depus pe piesa de bază.*

Aderența stratului metalizat se realizează prin două mecanisme:

- ***Aderență mecanică****: Fixarea directă a particulelor pulverizate în micro-asperitățile și neregularitățile suprafeței-suport;*
- ***Aderență mixtă (mecanică și metalurgică):*** *Utilizarea unui strat intermediar (de legătură) din metale sau aliaje speciale, care formează o rețea de micropuncte de sudură cu piesa de bază.*

Fluxul tehnologic de pregătire a componentelor include:

1. ***Prelucrarea mecanică preliminară****: Pentru depunerea materialului de adaos la grosimea optimă de funcționare;*
2. ***Sablarea (după prelucrare):*** *Curăță și generează rugozitatea ideală (asperitățile) pentru aderarea a metalului topit.*

Adâncimea minimă a secțiunii prelucrate se determină prin calcularea limitei maxime de uzare la care se adaugă grosimea minimă necesară a stratului depus.

În tabelul de mai jos sunt date valorile stratului minim depus în cazul pieselor de tipul arborilor:

Tabelul 11.1.

Diametrul piesei în zona de recondiționare, (mm)	**Grosimea maximă a stratului pe rază,** (mm)
≤ 25	0,30
26 ÷ 50	0,40
51 ÷ 75	0,60
76 ÷ 100	0,70
101 ÷ 125	0,80
126 ÷ 150	1,00
≥ 151	1,25

La recondiționarea pieselor cilindrice ale căror zone uzate sunt situate central (Figura 11.6), prelucrarea mecanică se extinde atât pe lungimea afectată de uzare, cât și pe porțiunile adiacente neuzate. Diametrul final de strunjire (d) se determină cu ajutorul relației:

$$d = D - (L_u + G_m) \quad \text{(mm)} \qquad (11.1)$$

în care: – *D* - Diametrul inițial al piesei [mm];

– L_u- limita maximă de uzare pe diametru [mm];

– G_m – grosimea de siguranță a startului depus pe diametru [mm].

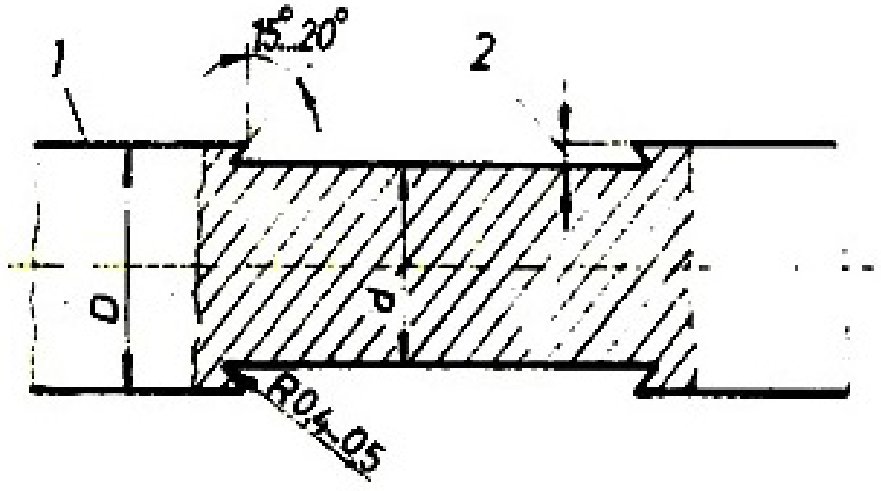


Fig. 11.6. *Prelucrarea pieselor cilindrice când suprafața de recondiționat se află într-o zonă centrală:*

1 – piesa de metalizat; 2 – spațiul pentru stratul de metalizat; *D* – diametrul porțiunii neprelucrate; *d* – diametrul porțiunii ce trebuie metalizată.

PREGĂTIREA GEOMETRICĂ A EXTREMITĂȚILOR PENTRU CREȘTEREA ADERENȚEI

Pentru a preveni exfolierea și a asigura o fixare optimă a stratului la marginile zonei prelucrate, se aplică următoarele reguli geometrice:

- **Teșirea marginilor interioare:**

La piesele cilindrice cu zone uzate dispuse central, trecerile la extremitățile zonei prelucrate se execută cu o înclinație de **15°– 20°**. Pentru aceasta, se utilizează un cuțit de strung cu raza la vârf de **0,4 – 0,5 mm**.

- **Protejarea capetelor de arbore** (Figura 11.7)

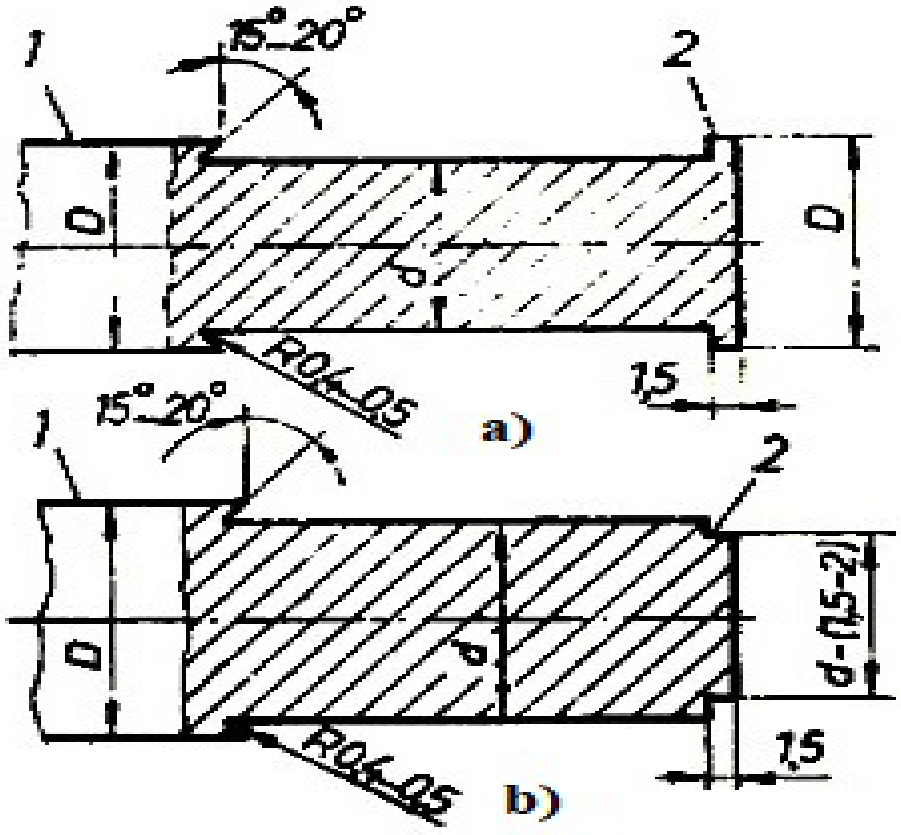


Fig.11.7. *Prelucrarea pieselor cilindrice când suprafața de recondiționat se află la extremități*

a) – metalizare cu prag la capătul piesei: 1 – piesa de metalizat; 2 – prag metalizat; D – diametrul porțiunii neprelucrate; d – diametrul porțiunii ce trebuie metalizată;

b) – metalizarea fără prag și cu strunjirea extremității piesei: 1 – piesa de metalizat; 2 – porțiune strunjită pentru prelucrat; D – diametrul porțiunii ce trebuie metalizată; d – diametrul porțiunii ce trebuie metalizată.

Când suprafața de recondiționat se află chiar la capătul piesei, materialul pulverizat tinde să se răsfrângă și să își piardă aderența.

- Pentru a elimina riscul mai sus menționat, prelucrarea se realizează conform detaliului din **Figura 11.8**, prin executarea unui prag de siguranță cu o lățime de **1,5 mm** la marginea absolută a piesei.

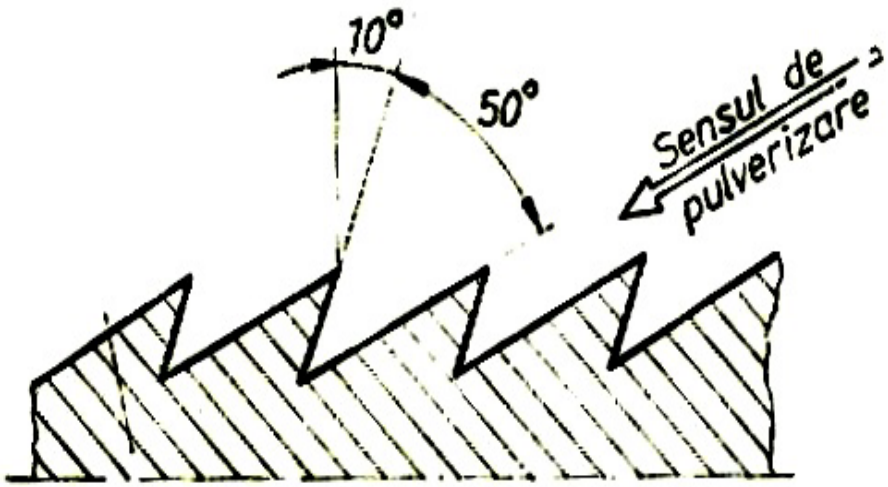


Fig. 11.8. *Prelucrarea suprafeţelor concave prin filetare în vederea metalizării*

Când zona uzată ajunge până la marginea absolută a piesei, strunjirea se execută conform geometriei din **Figura 11.8**. La extremitatea arborelui, pe o lungime de **1,5 mm**, diametrul se reduce suplimentar cu **1,5 – 2 mm** sub cota (d) calculată anterior.

PREGĂTIREA PIESELOR PLANE, CURBATE SAU PROFILATE

La recondiționarea locală a suprafețelor plane, curbate sau profilate, fluxul de pregătire mecanică se adaptează în funcție de mărimea zonei afectate:

- **Prelucrarea inițială:** Suprafața se prelucrează mecanic (prin frezare, rabotare sau rectificare) până la eliminarea completă a defectelor și a urmelor de uzare;
- **Aderarea zonelor reduse:** În cazul suprafețelor uzate de mici dimensiuni, marginile cavității rezultate se prelucrează geometric sub formă de coadă de rândunică pentru a bloca mecanic stratul depus;
- **Aderarea suprafețelor mari** (Figura 11.9)**:** Pentru zonele de metalizat cu suprafețe extinse, aderența mecanică este suplimentată prin montarea unor șuruburi cu cap conic în piesa de bază, asigurând astfel știfturi solide de ancorare pentru materialul pulverizat.

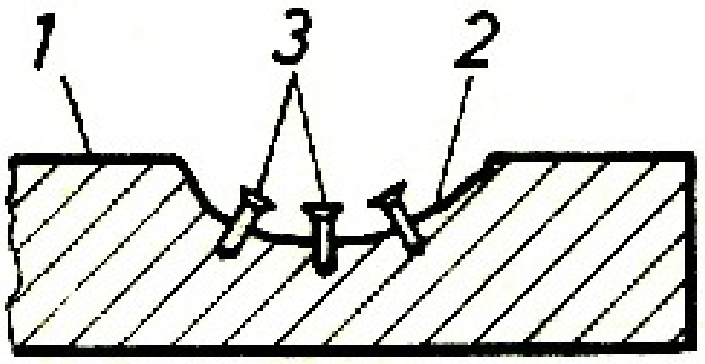


Fig. 11.9. *Prelucrarea pieselor plane, curbate sau profilate, uzate, cu suprafaţa mare*

1-piesa de prelucrat; 2-zona uzată; 3-şuruburi cu cap conic;

Când suprafața de recondiționat este poziționată la extremitatea piesei, marginea acesteia se pregătește prin executarea unor caneluri de blocare. Aceste profile reține materialul pulverizat și împiedică răsfrângerea sau exfolierea stratului metalizat în zona terminală.

11.5. Prelucrarea mecanică pentru asigurarea aderenței stratului metalizat

Printre cele mai utilizate tehnici de pregătire mecanică a suprafețelor se numără:

- **Pregătirea prin înfășurare cu sârmă:** Această metodă se aplică exclusiv pe suprafețe convexe (exterioare) în următoarele situații critice:
  - Când piesa de bază are o duritate foarte mare, fiind dificil de prelucrat prin așchiere clasică;
  - Când, în urma uzării și a operațiilor anterioare, piesa a ajuns la limita inferioară de rezistență structurală, iar executarea unor canale sau filete suplimentare ar risca să o fragilizeze sau să o distrugă în timpul utilizării.

TEHNOLOGII SPECIFICE DE PREGĂTIRE A SUPRAFEȚELOR

1. **Tehnologia pregătirii prin înfășurare cu sârmă**. Procesul operativ include următoarele faze consecutive:
   - **Prelucrarea inițială:** Strunjirea suprafeței pentru a crea spațiul geometric necesar grosimii minime a stratului;
   - **Montarea sârmei:** Înfășurarea strânsă a sârmei pe suprafața piesei și asigurarea capetelor la ambele extremități prin puncte de sudură direct pe suport;

- **Dimensionarea sârmei:** Alegerea unui diametru al sârmei de aproximativ 60% din grosimea totală a stratului metalizat, păstrând spații libere între spire;
- **Configurarea pasului:** Setarea unui pas de înfășurare echivalent cu de 4 până la 6 ori diametrul sârmei utilizate;
- **Finisarea abrazivă:** Sablarea întregului ansamblu, urmată de o suflare cu aer comprimat uscat pentru a elimina orice resturi de abraziv blocate sub spire.

2. **Tehnologia pregătirii prin filetare normală.** Această metodă este destinată exclusiv componentelor supuse unor solicitări mecanice reduse, fiind ideală pentru recondiționarea ajustajelor presate sau a suprafețelor cu uzuri minime.
   - **Limite geometrice:** Se aplică pe suprafețe convexe unde grosimea finală a stratului depus nu depășește **1 mm pe rază** după rectificarea inițială;
   - **Execuția filetului:** Pentru garantarea unei aderențe optime, se strunjește un filet ascuțit cu unghiul la vârf de **60°**. Prelucrarea se realizează obligatoriu dintr-o singură trecere a cuțitului de strung, profilul rezultat trebuind să păstreze flancuri aspre și puternic rugoase.

Pasul filetului se alege după relațiile:

P = 0,5...0,7 mm, când piesa este supusă la eforturi mici sau medii;

P = 1...1,25 mm, când piesa trebuie să suporte eforturi mari și este necesară o aderență foarte bună.

Pentru îmbunătățirea aderenței stratului metalizat, după prelucrarea filetului, se va efectua o aplatizare a vârfurilor prin striere.

În final, suprafața astfel pregătită arată ca în figura 11.10.

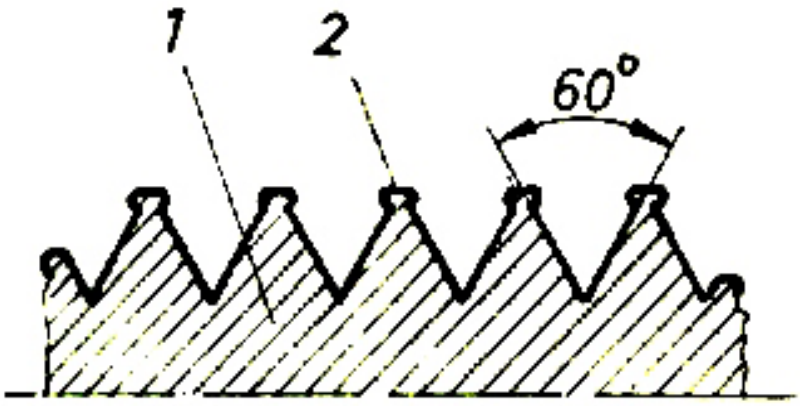


Fig. 11.10. *Prelucrarea suprafetelor convexe prin filetare normală în vederea metalizării*

1–piesa de prelucrat; 2–filet ascuţit prelucrat prin striere

TEHNOLOGIA PREGĂTIRII PRIN STRIERE

- **Mecanismul de profilare:** Operația se realizează cu ajutorul unui dispozitiv dotat cu două role de striere montate suprapus pe același suport. Una dintre role are dinții înclinați spre stânga, iar cealaltă spre dreapta, generând prin presare o striere rugoasă cu zimți încrucișați;
- **Alinierea echipamentului:** Pentru o profilare uniformă, este esențial ca rolele să intre în contact cu suprafața piesei pe întreaga lor lățime încă de la începutul operației. Această uniformitate se asigură prin alinierea paralelă a axei rolelor cu axa de rotație a piesei;
- **Regimuri de lucru:** Valorile optime pentru viteza periferică a piesei în timpul procesului de striere sunt detaliate în tabelul 11.2.

Tabelul 11.2.

Materialul de prelucrat	***Oțel moale***	***Oțel dur***	***Bronz cu staniu***	***Alamă***	***Aluminiu***
Viteza periferică în (m/min).	25	15	30	40	80

Efectele filetului asupra piesei

- **Sensibilitatea la solicitări dinamice:** Pregătirea prin filetare introduce concentratori puternici de tensiune în material, reducând rezistența la oboseală a piesei cu aproximativ **15%**. Din acest motiv, tehnica este strict recomandată componentelor fără solicitări mecanice intense;
- **Limitări pe suprafețe interioare concave:** Aplicarea unui filet ascuțit standard nu este eficientă la interiorul pieselor. Din cauza geometriei închise, jetul de pulverizare nu poate fi menținut perpendicular la **90°** pe suprafață. Acest lucru duce la o depunere defectuoasă, materialul fixându-se doar pe flancurile filetului expuse direct către pistoletul de metalizare;
- Pentru a asigura o aderență optimă pe suprafețele concave, profilul ascuțit se înlocuiește cu un **filet tip ferăstrău**, păstrând același pas de filetare. În acest caz specific, vârfurile profilului rezultat nu se mai aplatizează prin striere, aceasta fiind singura metodă mecanică eficientă pentru pregătirea alezajelor interioare;
- **Optimizarea aderenței:** Pentru siguranța maximă a îmbinării, se recomandă combinarea acestei prelucrări geometrice cu depunerea preliminară a unui strat intermediar de legătură (metal sau aliaj special).

11.6. Tehnologia executării metalizării prin pulverizare

Pentru executarea metalizării prin pulverizare, piesele de revoluție se fixează pe un strung sau pe un dispozitiv special care le asigură rotirea, fiind esențial ca acest echipament să fie amplasat într-o nișă dotată cu sistem de absorbție pentru reținerea gazelor și a particulelor de metal aflate în suspensie. În timpul procesului, turația se reglează în funcție de diametrul suprafeței de recondiționat, menținându-se în intervalul de 30-60 rot/min. Înainte de începerea depunerii, zonele adiacente care nu trebuie acoperite se protejează cu benzi adezive, tablă subțire sau pastă specială, iar suprafața rugoasă se suflă cu aer comprimat filtrat pentru eliminarea completă a resturilor de abraziv. De asemenea, este recomandată preîncălzirea piesei pentru eliminarea umidității și realizarea unei dilatări uniforme, temperatura de lucru fiind cuprinsă, de regulă, între 333 K și 423° K, depășirea acestei limite superioare, afectează piesa de bază. Această încălzire preliminară se face cu arzătoare oxigaz sau direct cu pistolul de metalizare cu sârmă, prin oprirea temporară a avansului de material.

Distanța optimă dintre capul aparatului și suprafața piesei se menține între 180 și 200 mm pentru majoritatea materialelor, însă scade la 125-150 mm în cazul pulverizării straturilor intermediare de legătură, în timp ce la utilizarea aparatelor electrice de metalizare, primul strat se depune de la o distanță mult mai mică, de 50-60 mm. O influență majoră asupra structurii, densității și durității stratului o are unghiul format între suprafața piesei și axa jetului de metal topit. Cele mai bune rezultate se obțin la o perpendicularitate perfectă de 90 de grade, dar unghiul poate fi redus în funcție de condițiile de lucru până la cel mult 45 de grade, deoarece o înclinare mai pronunțată duce la o porozitate excesivă și la o coeziune slabă între particule. Totuși, când suprafața a fost pregătită mecanic prin filetare, înfășurare sau canale elicoidale, primele treceri se execută obligatoriu la un unghi de 45^0 pentru a

asigura pătrunderea materialului în toate micro-cavitățile profilului. În timp ce straturile subțiri, de sub 0,5 mm, se pot depune intermitent fără riscuri, în cazul straturilor mai groase apare pericolul fisurării din cauza contracției materialului depus la răcire, corelată cu dilatarea succesivă a piesei de bază care se încălzește în timpul procesului, situație care impune aplicarea unor măsuri stricte de prevenire, precum:

- **Preîncălzirea piesei:** Încălzirea preliminară a componentei până la temperatura pe care o va atinge în mod natural în timpul pulverizării. Această metodă se aplică pieselor de dimensiuni mici, folosind arzătoare oxigaz;
- **Răcirea piesei:** Menținerea piesei de bază la o temperatură scăzută prin direcționarea unui jet de aer sub presiune pe suprafața opusă celei pe care se execută metalizarea;
- **Pulverizarea intermitentă:** Depunerea succesivă a unor straturi foarte subțiri, separate de pauze tehnologice destinate răcirii controlate a piesei. Această tehnică garantează că temperatura nu depășește intervalul de 342–363^0 K în timpul lucrului, fiind recomandată strict la recondiționarea pieselor intens solicitate, cum sunt arborii cotiți de motoare sau axele de laminare.

Influența parametrilor de lucru și a porozității asupra stratului metalizat

Dacă metalul de adaos este utilizat sub formă de sârmă, viteza de avans a acesteia trebuie menținută la o valoare ridicată, deoarece un avans prea lent determină fragmentarea materialului în particule excesiv de fine și puternic oxidate. Un astfel de fenomen afectează calitatea depunerii, stratul rezultat fiind mai fragil, cu o rezistență scăzută la oboseală și predispus la apariția fisurilor. De asemenea, structura stratului metalizat este direct influențată de viteza de translație a aparatului de pulverizare de-a lungul piesei. O viteză de deplasare prea mică produce o încălzire locală excesivă a

suportului, generând tensiuni interne și o structură casantă, în timp ce o viteză exagerat de mare duce la o depunere defectuoasă și neuniformă. Pentru a preveni supraîncălzirea și a garanta o distribuție uniformă a materialului, se recomandă efectuarea unor treceri repetate și relativ rapide ale aparatului de pulverizat.

În ceea ce privește porozitatea specifică stratului metalizat, aceasta reprezintă, în general, un avantaj major pentru funcționarea pieselor recondiționate prin îmbunătățirea condițiilor de lubrifiere, datorită capacității structurii de a îngloba și reține uleiul între pori. Cu toate acestea, dacă piesele recondiționate urmează să lucreze în condiții de presiuni hidraulice mari, uleiul va pătrunde cu forță în interiorul porilor, provocând dislocarea și exfolierea materialului depus. Acest comportament critic se întâlnește frecvent la recondiționarea pistoanelor din agregatele hidraulice de acționare sau la fusurile arborilor cotiți care funcționează pe cuzineți din aliaje dure de aluminiu, cupru sau plumb. Pentru a elimina acest risc, după finalizarea pulverizării și înainte de prelucrarea mecanică de finisare, este obligatorie executarea unei operații intermediare de impregnare a depunerilor în scopul obturării complete a porilor, această procedură fiind indispensabilă și atunci când metalizarea este aplicată ca tratament de protecție anticorozivă. Cele mai utilizate substanțe pentru impregnare sunt:

– **Lacul de bachelită:** Se utilizează pentru impregnarea oricărui tip de metal pulverizat, oferind o rezistență ridicată la acțiunea majorității agenților chimici. Înainte de aplicare, se diluează în alcool etilic concentrat în proporție de 50–60%. Se aplică direct pe suprafața piesei imediat după metalizare, când temperatura stratului depus este de minimum 323^0 K. *Prelucrarea mecanică finală se poate realiza după un interval de 4–6 ore de la aplicare, acest tratament fiind stabil la temperaturi de lucru de până la 523–553^0 K*;

- **Clorura de polivinil (PVC):** Se folosește în special pentru etanșarea straturilor de aluminiu sau zinc depuse în scopuri de protecție anticorozivă. Stratul astfel impregnat prezintă stabilitate termică până la temperaturi de 453–493°K;
- **Rășinile aurinice:** Fac parte din clasa rășinilor epoxidice și asigură o penetrare și o fixare excelente în microporozitățile oricărui tip de metal. Aplicarea acestora se face după pregătirea corespunzătoare a amestecului, direct la temperatura camerei.

În anumite fluxuri de producție, operația de impregnare este aplicată obligatoriu înaintea fazei de finisare mecanică prin rectificare, pentru a preveni colmatarea pietrei de rectificat cu microparticule desprinse sau pătrunderea fluidelor de răcire în pori.

Prelucrarea mecanică finală a pieselor metalizate

Scopul prelucrărilor ulterioare este aducerea pieselor recondiționate la formele geometrice și dimensiunile inițiale de proiectare. Înainte de a trece la prelucrarea mecanică propriu-zisă, sunt obligatorii următoarele operații pregătitoare:

- **Controlul tehnic inițial:** Evaluarea vizuală și dimensională a calității stratului metalizat depus;
- **Curățarea zonelor adiacente:** Îndepărtarea completă a particulelor de metal pulverizat de pe suprafețele învecinate care au fost protejate;
- **Deblocarea canalelor:** Îndepărtarea elementelor de obturare din orificiile de ungere și a penelor false folosite pentru protejarea canalelor de pană de pe axe.

Strunjirea se aplică exclusiv straturilor depuse care au o duritate de maximum 40 HRC. În cadrul acestui proces, trebuie respectate următoarele reguli stricte:

- **Alegerea sculelor aşchietoare:** Straturile din oţel se strunjesc obligatoriu cu scule armate cu plăcuţe din carburi metalice. Pentru straturile din metale neferoase, se pot utiliza şi cuţite din oţel rapid;
- **Calitatea tăişului:** Sculele trebuie să fie perfect ascuţite pentru a preveni dislocarea particulelor metalice din stratul pulverizat. Din cauza naturii abrazive a particulelor desprinse, ascuţirea sculelor se va face în mod repetat şi des;
- **Răcirea şi lubrifierea:** La utilizarea sculelor din oţel rapid, se foloseşte un debit abundent de lichid de aşchiere;
- **Stabilizarea stratului:** Între finalizarea procesului de metalizare şi începerea strunjirii se recomandă un timp de repaus de câteva ore pentru detensionarea şi stabilizarea structurii depuse;
- **Regimul de lucru:** Procesul se va desfăşura folosind valori reduse ale parametrilor de aşchiere.

Geometria optimă de ascuţire a cuţitelor de strung, la straturile din oţel:

- ✓ Unghiul de degajare$\gamma = -5^0$;
- ✓ Unghiul de aşezare $\alpha = 12^0$;
- ✓ Ungiul de atac principal $\chi_1 = 60^0$;
- ✓ Unghiul de atac secundar $\chi_2 = 10^0$;
- ✓ Raza de racordare la vârf r = 1...1,5 mm.

Prelucrarea prin aşchiere. Parametrii regimului de aşchiere în funcţie de materialul stratului depus:

Pentru straturi din oţel cu HB ≤ 40:

- ✓ Viteza de aşchiere $v_a = 10...15$ m/min;
- ✓ Adâncimea de aşchiere t = 0,2...0,3 mm;
- ✓ Avansul s = 0,1 mm/rot.

Pentru straturi din bronz sau alamă:

- ✓ Viteza de așchiere v_a = 20...25 m/min;
- ✓ Adâncimea de așchiere t = 0,3...0,4 mm;
- ✓ Avansul s = 0,2...0,3 mm/rot.

Pentru straturi din aluminiu sau zinc:

- ✓ Viteza de așchiere v_a = 30...40 m/min;
- ✓ Adâncimea de așchiere t = 0,3...0,5 mm;
- ✓ Avansul s = 0,3...0,5 mm/rot.

Prelucrarea finală prin rectificare: Rectificarea abrazivă se aplică drept procedeu general de finisare pentru straturile metalizate din oțel, indiferent de nivelul lor de duritate, utilizând parametri de lucru similari cu cei folosiți la prelucrarea pieselor din fontă.

Pentru a asigura calitatea suprafeței și integritatea stratului, procesul tehnologic impune respectarea următoarelor condiții specifice:

- **Alegerea corpului abraziv:** Piatra de rectificat trebuie să aibă o granulație mare pentru a preveni colmatarea rapidă cu microparticule metalice;
- **Răcirea zonei de așchiere:** În timpul procesului este obligatorie utilizarea unui debit abundent de lichid de răcire pentru a evita apariția tensiunilor termice sau a microfisurilor în stratul depus;
- **Protejarea piesei:** Înainte de rectificarea finală, impregnarea prealabilă a stratului metalizat este obligatorie. Acest tratament de etanșare împiedică pătrunderea prafului abraziv și a așchiilor microscopice în material.

11.7. Alegerea materialelor de adaos și proprietățile acestora

Procesul tehnologic de recondiționare prin metalizare necesită materiale cu caracteristici bine determinate și de cele mai multe ori cu proprietăți fizico-chimice diferite de cele ale materialului de bază.

La depunerea unor straturi subțiri, procesul nu impune restricții de natură tehnologică, fiind posibilă utilizarea oricărei mărci sau calități de metal. În această situație, criteriile care țin de alegerea materialului de adaos sunt performanțele funcționale pe care stratul final trebuie să le asigure. Se urmărește în mod deosebit nivelul de duritate, precum și capacitatea de rezistență la uzare și coroziune.

La depunerea straturilor groase, în prima fază de alegere a materialului de adaos se va avea în vedere coeficientul lui de contracție și apoi celelalte proprietăți fizico-chimice de rezistență la uzare.

Prin construcția stratului depus, în timpul răcirii se dezvoltă tensiuni interne foarte puternice, care conduc în final la fisurarea lui. De aceea în asemenea situații se vor alege materiale cu rezistențe mari la tracțiuni și cu coeficient mic de contracție.

Materialele de adaos utilizate în procesul de metalizare sunt livrate fie sub formă de sârme, fie sub formă de pulberi. Din punct de vedere al compoziției, sârmele sunt fabricate exclusiv din metale sau aliaje metalice, în timp ce pulberile, pot fi constituite atât din metale, cât și din oxizi metalici sau compuși ceramici complecși.

O categorie specială de pulberi, o constituie așa numitele ”pulberi cu autofondant”, care sunt pulberi metalice pe bază de cobalt și nichel, în masa cărora se introduce și o anumită cantitate de flux compus din siliciu și bor, care îndeplinesc următoarele funcții:

- Micșorarea cu circa 673÷873°K, a temperaturii de topire a metalului de adaos;

- Reduc oxizii de nichel, crom, cobalt și fier;
- Ușurează difuzia metalului de adaos în stratul superficial al metalului de bază.

Dacă se utilizează acest tip de pulberi (pulberi cu autofondant), după efectuarea depunerii lor pe piesă, se va încălzi stratul depus până la temperatura de 1220÷1370°K, urmată de răcirea piesei în aer liber. Se va realiza astfel fuziunea dintre stratul metalizat și piesa de bază, aderența fiind compatibilă cu cea rezultată prin procedeul de sudare oxigaz.

11.8. Procedee de recondiționare prin încărcare cu aliaje dure prin sudare și metalizare

Încărcarea cu aliaje dure este utilizată pentru protejarea componentelor expuse unor medii cu acțiune puternic abrazivă, precum și pentru refacerea straturilor de uzare deteriorate. O aplicație deosebit de eficientă constă în depunerea unui strat dur pe suprafețele unor piese care nu au fost tratate inițial în acest fel. Prin această procedură, pe lângă restabilirea geometriei inițiale, se obține o creștere semnificativă a duratei de viață în exploatare. Din punct de vedere chimic, aceste aliaje de înaltă rezistență au la bază carburi de crom, wolfram, cobalt sau siliciu. Materialele de adaos specifice sunt livrate sub diverse forme, cum ar fi electrozi înveliți, pulberi, sârme pline sau tubulare, precum și granule dure încapsulate în tuburi din oțel cu pereți subțiri.

La fel ca la majoritatea proceselor de recondiționare, etapa de încărcare propriu-zisă trebuie precedată de un flux de operații pregătitoare:

- ✓ **Curățarea și degresarea:** Îndepărtarea completă a oxizilor și a urmelor de lubrifianți de pe suprafața de încărcat;

- ✓ **Controlul defectoscopic:** Utilizarea metodelor cu lichide penetrante, fluorescente sau a controlului magnetic pentru detectarea eventualelor microfisuri în piesa de bază sau în stratul uzat;
- ✓ **Pregătirea piesei prin polizare:** Rotunjirea muchiilor ascuțite și uniformizarea adânciturilor din zona de lucru, în special atunci când piesa a mai fost acoperită anterior cu un strat dur care necesită refacere.

Atunci când depunerea se realizează direct pe materialul piesei, este recomandată executarea unei prelucrări mecanice preliminare. Acest pas este necesar a fi făcut pentru îndepărtarea integrală a stratului superficial ecruisat sau uzat în timpul funcționării și pentru crearea unei degajări în care să se depună noul aliaj dur.

În figura 11.11. sunt reprezentate modalitățile de încărcare cu aliaje dure, a unor came uzate.

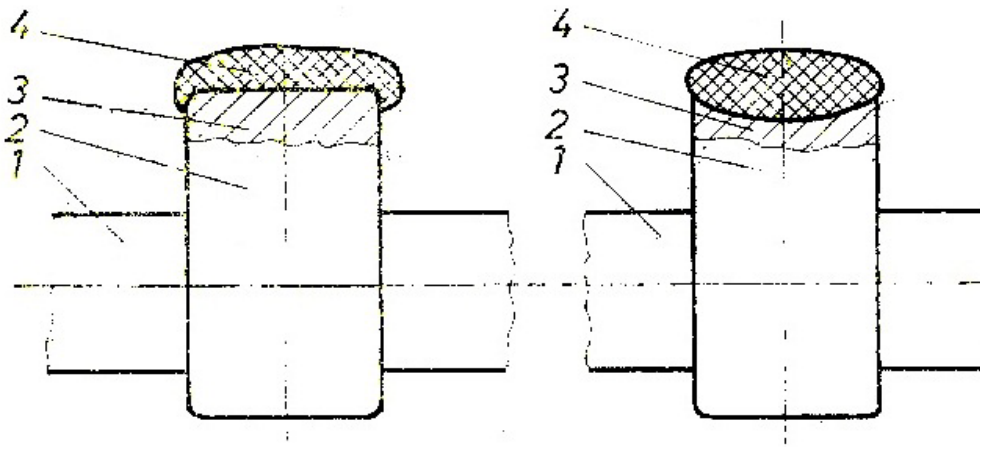


Fig.11.11. *Încărcarea camelor cu aliaje dure*

1–ax cu came; 2–camă; 3–zona uzata; 4–strat încărcat cu aliaje dure

În figura 11.12. este prezentată o supapă cu talerul recondiționat prin depunere de aliaje dure, procedeul de recondiționare constând din:

- **Prelucrarea zonelor defecte:** Eliminarea prin polizare a tuturor fisurilor identificate;
- **Preîncălzirea componentelor:** Încălzirea preliminară a piesei de bază, indiferent de metoda de recondiționare aleasă. Temperatura optimă de preîncălzire se stabilește în funcție de compoziția chimică a materialului piesei, dimensiunile și geometria acesteia, precum și de natura materialului de adaos utilizat.

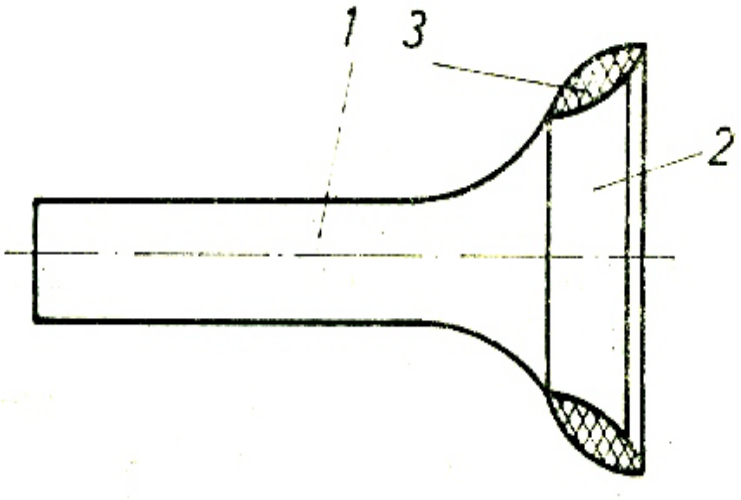


Fig. 11.12. *Încărcarea suprafeţelor cu aliaje dure*:
1–tija supapei; 2–talerul supapei; 3–strat încărcat de aliaje dure

Procedee de depunere și încărcare cu aliaje dure:

- Sudare manuală cu arc electric;
- Sudare automată sau semiautomată cu arc electric sub strat de flux;
- Sudare cu flacără oxiacetilenică;
- Încărcare cu arc electric utilizând electrod de cărbune;

- Sudare în mediu de gaz protector cu electrod nefuzibil de wolfram (WIG);
- Metalizare prin pulverizare termică;
- Încărcare prin topire cu jet sau arc de plasmă.

Depunerea aliajelor dure, prin sudare manuală cu arc electric. Încărcarea prin sudare manuală cu arc electric se poate realiza cu sau fără preîncălzirea prealabilă a pieselor, în strictă conformitate cu specificațiile tehnice ale electrozilor utilizați. Procesul se execută în curent continuu, utilizând polaritatea inversă, ceea ce presupune conectarea electrodului la polul pozitiv (+). Pentru prevenirea apariției porilor și a incluziunilor de gaze în masa metalului depus, este obligatorie uscarea prealabilă a învelișului electrozilor timp de 2 ore, la o temperatură cuprinsă între 523°K și 573°K.

În timpul sudării, un obiectiv tehnologic major îl reprezintă obținerea unei diluții cât mai reduse a stratului depus cu materialul de bază, limitând astfel pătrunderea și influența acestuia din urmă asupra durității și proprietăților mecanice ale suprafeței recondiționate. Reducerea diluției se obține prin reglarea intensității curentului de sudare la limita inferioară a intervalului recomandat de producător. De asemenea, viteza de avans trebuie controlată riguros, astfel încât baia de metal topit să își mențină în permanență o configurație circulară.

La executarea depunerilor prin cordoane paralele și suprapuse (figura 11.13.), fiecare cordon nou trebuie să acopere între ¼ până la ⅓ din lățimea cordonului precedent, asigurându-se o întrepătrundere optimă și o suprafață finală cât mai uniformă. Pe parcursul întregii operații de încărcare, piesa trebuie poziționată astfel încât suprafața de lucru să rămână perfect orizontală.

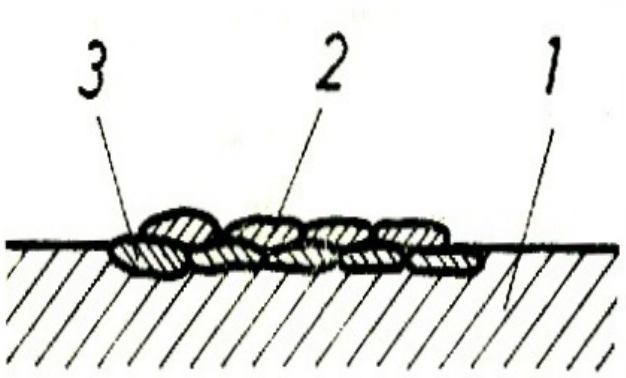


Fig. 11.13. *Depunerea aliajelor dure, prin sudare manuală cu arc electric*:
1–strat depus anterior; 2–strat nou suprapus; 3–metalul de bază

Tipuri principale de aliaje dure utilizate la încărcarea prin sudare manuală

- **Aliaje de tip stelit:** Sunt compuse în principal din carburi de wolfram și crom, înglobate într-o matrice de cobalt sau fier. În funcție de concentrația de carburi, duritatea stratului depus variază între 38 și 65 HRC. Datorită stabilității la cald, aceste aliaje se utilizează la recondiționarea supapelor de evacuare pentru motoarele cu ardere internă, a camelor, a axelor planetare, a matrițelor și a elementelor de armături industriale care funcționează în medii termice severe, cu temperaturi cuprinse între 973°K și 1023°K;
- **Aliaje de tip sormait:** Sunt sisteme de aliere pe bază de Fe-Cr cu adaosuri de nichel, fără wolfram sau cobalt în compoziție. Prin depunere se obțin straturi caracterizate printr-un conținut ridicat de carburi de crom, de aproximativ 20–30%. Duritatea stratului depus, fără aplicarea unui tratament termic ulterior, este de 48–52 HRC. Aceste materiale sunt destinate pieselor expuse unei uzuri abrazive intense la temperaturi de lucru de până la 523°K, fiind foarte bune pentru sape de foraj, organe active ale mașinilor agricole (brăzdare, cuțite), dinți pentru cupele de excavator, roți dințate sau ghidaje;

- **Electrozi de încărcare duri:** Asigură prin depunere directă straturi cu durități cuprinse în intervalul 25–62 HRC. Nivelul de duritate și rezistență crește proporțional cu concentrația de carburi de crom și cu aportul altor elemente de aliere, precum molibdenul, vanadiul și wolframul.

1) ***Încărcarea prin sudare cu arc electric sub strat de flux protector a aliajelor dure***. Acest procedeu este recomandat pentru recondiționarea suprafețelor extinse, deoarece permite utilizarea unor viteze mari de depunere. Prin această metodă se obțin suprafețe curate, netede și lipsite de porozități, de pe care zgura rezultată se îndepărtează cu ușurință. Pentru a limita efectul de diluție cu materialul de bază și a păstra proprietățile optime de duritate, încărcarea se realizează prin depunerea mai multor straturi succesive.

În practica industrială de recondiționare se utilizează două variante tehnologice principale:

- ***Depunerea cu sârmă tubulară a aliajelor dure:*** Constă în topirea concomitentă a învelișului metalic exterior și a pulberilor dure din miezul sârmei sub protecția stratului de flux. Un exemplu reprezentativ este sârma de tip STI 01 F (dezvoltată de ISIM Timișoara), care generează prin depunere un aliaj din clasa „sormait”. Aceasta asigură o duritate de 52 HRC încă de la primul strat. Totuși, trebuie avut în vedere că materialul depus prezintă o tendință accentuată de fisurare începând cu al doilea strat. Compoziția chimică optimă a cordonului se obține prin sudarea în cuplu cu fluxuri protectoare de tip FSM-20 sau FSM-37;
- ***Depunerea cu pulberi și electrod lamelar a aliajelor dure***: Aplicarea acestei metode necesită adaptarea instalației standard de sudare sub strat de flux prin montarea unui canal special de ghidaj pentru

electrodul lamelar. Electrodul este realizat sub forma unui tub din tablă cu secțiune dreptunghiulară, în interiorul căruia se află pulberea de aliaj dur. Se utilizează pulberi industriale de tip „stelit" sau „relit" (compuse din 95–96% carbură de wolfram și 3,2–4,2% carbon). Pentru protecție se folosește un flux topit (FSM-37), iar electrozii sunt confecționați din tablă de oțel aliat cu 0,1–0,15% vanadiu, având o grosime de 0,3–0,5 mm și o lățime adaptată zonei de recondiționat, fără a depăși însă 10 mm.

2) ***Încărcarea cu aliaje dure utilizând flacăra oxiacetilenică.*** Acest procedeu folosește ca materiale de adaos stelitul, sormaitul, relitul sau diverse carburi de wolfram, crom și cobalt, ultimele fiind livrate sub formă de granule sau pulberi. Aliajele de tip „stelit" și „sormait" sunt utilizate sub formă de bare turnate ori laminate. În schimb, relitul se prezintă sub formă de tuburi din tablă subțire de oțel, umplute cu granule de carbură de wolfram. Pentru depunerea acestor materiale se folosesc arzătoare oxiacetilenice standard, iar ca și flux se utilizează boraxul calcinat.

Tehnologia de depunere se diferențiază în funcție de forma materialului de adaos:

- ***Depunerea cu vergele sau bare:*** Încărcarea se execută cu o flacără reglabilă cu exces de acetilenă, orientată la un unghi de 30°–60° față de suprafața-suport, menținând nucleul flăcării la o distanță de 1–3 mm de piesă. Zona de lucru se preîncălzește mai întâi la 1073–1173^0 K, după care flacăra se retrage ușor pentru a introduce vergeaua de adaos. Aceasta se topește și se distribuie uniform pe suprafața piesei. O depunere neuniformă sau izolată sub formă de picături indică o preîncălzire insuficientă a materialului de bază;
- ***Depunerea cu pulberi:*** Se realizează cu ajutorul unui arzător special de pulverizare dotat cu un rezervor atașat. Pulberea este aspirată și

antrenată de curentul de oxigen prin canalul central, fiind topită instantaneu la trecerea prin flacără și proiectată pe piesă. După prelucrarea mecanică și degresarea piesei, se face o preîncălzire la 523–573°K și se aplică un prim strat subțire de pulbere cu scop de protecție împotriva oxidării. Procesul continuă prin ridicarea temperaturii piesei la 673–773°K, pulverizarea fiind menținută până la obținerea grosimii dorite a stratului. Deoarece aceste pulberi industriale includ deja dezoxidanți în compoziția lor, adăugarea separată de flux nu mai este necesară.

Tratamentul termic post-sudare: Indiferent de metoda aleasă, la finalul depunerii, stratul se reîncălzește uniform cu arzătorul la o temperatură de 1073–1123°K, vizibil prin colorarea metalului în roșu strălucitor. Acest pas este esențial pentru a stimula difuzia controlată a elementelor de aliere pe o adâncime de 0,2–0,4 mm în piesa de bază, garantând o legătură metalurgică excelentă.

3) *Încărcarea cu aliaje dure prin sudare cu arc electric și electrod de cărbune.* Acest procedeu constă în depunerea prin sudare a aliajelor dure sub formă de granule, utilizând căldura unui arc electric amorsat de un electrod de cărbune. Amestecul granular este compus din feroaliaje pe bază de ferocrom, feromangan, ferovanadiu și ferosiliciu, elemente care reacționează în baia de metal topit pentru a genera carburi de înaltă rezistență la uzare. Tehnologia este utilizată în special pentru recondiționarea componentelor cu suprafețe active extinse, care funcționează într-un regim intens de frecare cu solul, asigurând o duritate a stratului final cuprinsă între 35 și 45 HRC.

Din punct de vedere operațional, distribuirea perfect uniformă a granulelor pe suprafața-suport este dificil de realizat, motiv pentru care straturile rezultate prezintă adesea abateri geometrice și neuniformități. Din acest motiv, aplicarea metodei este strict limitată la genul de piese, unde

aceste neregularități nu afectează funcționalitatea ansamblului, cum ar fi brăzdarele mașinilor agricole sau dinții cupelor de excavator.

4) ***Încărcarea cu aliaje dure prin procedeul WIG***. Depunerea aliajelor dure prin procedeul WIG utilizează ca sursă de căldură un arc electric amorsat între un electrod nefuzibil de wolfram și piesa de bază, materialul de adaos fiind introdus sub formă de pulberi pe bază de carburi. Operația de sudare se desfășoară sub protecția unui mediu de gaz inert, de preferință argon de înaltă puritate, reglat la un debit optim de 6–8 l/min.

Calitatea depunerii rezultate este similară cu cea obținută prin sudarea oxiacetilenică, însă stratul final prezintă o puritate superioară și este complet lipsit de oxizi, datorită protecției eficiente asigurate de atmosfera de gaz inert. Pentru a reduce la minimum diluția aliajului depus cu materialul de bază și a păstra duritatea maximă, arcul electric este direcționat controlat mai mult spre baia de metal topit, în imediata apropiere a materialului de adaos, evitându-se supraîncălzirea directă a suportului. Acest procedeu este recomandat pentru recondiționarea de înaltă precizie a componentelor mecanismelor de distribuție ale motoarelor (supape, came, capete de culbutor), a roților dințate sau a pistoanelor pentru acționări hidraulice.

5) ***Încărcarea cu aliaje dure prin încălzire cu curenți de înaltă frecvență***. Acest procedeu utilizează curenții de înaltă frecvență pentru topirea materialului de adaos, care este un aliaj de tip „stelit” sau „sormait”, livrat sub formă de granule cu dimensiuni cuprinse între 0,3 și 0,4 mm.

Pentru realizarea transferului termic se folosesc inductoare speciale, a căror geometrie are forma suprafeței ce urmează a fi prelucrată. Inductoarele se poziționează la o distanță constantă de 3–4 mm deasupra stratului de granule, care a fost așezat în prealabil pe piesă. Deoarece granulele își reduc volumul prin topire și compactare, este necesar ca grosimea inițială a stratului

de carburi depus pe piesă înainte de încălzire să fie cu 25–30% mai mare decât cota finală proiectată pentru stratul consolidat.

6) *Încărcarea cu aliaje dure în arc de plasmă.* Depunerea aliajelor dure în arc de plasmă se realizează folosindu-se materiale de adaos sub formă de pulberi pe bază de wolfram, crom, nichel sau cobalt, ori sub formă de sârme cu secțiune tubulară având miezul umplut cu pulberi. Sursa termică de înaltă densitate este reprezentată de un jet de plasmă la temperaturi extreme, care topește instantaneu materialul de adaos și un strat mic din piesa de bază. Prin acest procedeu se obțin straturi depuse de o calitate excepțională, caracterizate printr-o structură extrem de densă, curată, perfect uniformă și cu o aderență metalurgică excelentă la metalul de bază. Un avantaj major al tehnologiei constă în controlul riguros al diluției, care poate fi menținută la valori foarte scăzute (sub 5%), garantând păstrarea intactă a proprietăților antifrecare și antiuzare ale aliajului dur încă de la prima trecere.

Echipamentul tehnic include un arzător (plasmatron) special proiectat, dotat cu un electrod nefuzibil de wolfram și duze de cupru răcite cu apă. În interiorul acestuia se formează un arc electric, transformat ulterior într-un arc transferat direct către piesă prin intermediul unui flux de gaz de plasmă, de regulă argon pur sau în amestec cu hidrogen ori heliu. Transportul pulberii fine din buncăr către baia de metal topit se realizează pneumatic, cu ajutorul unui gaz, asigurând un debit constant și o distribuție omogenă a carburilor în matricea metalică. Întregul sistem necesită o unitate avansată de comandă numerică (CNC) sau brațe robotizate industriale pentru controlul vitezei de translație și al oscilației arzătorului.

Din cauza acestei complexități ridicate a instalației, a costurilor inițiale mari de achiziție și a necesității unei calibrări foarte precise a parametrilor electrici și de debit, procedeul se aplică doar la serii mari de piese sau la componente complexe din industria energetică, chimică și extractivă.

12. CONTROLUL, TESTAREA PIESELOR ȘI SUBANSAMBLURILOR RECONDIȚIONATE

Calitatea unei piese sau a unui subansamblu recondiționat este determinată de următorii indicatori de bază:

- **Precizia geometrică**: Dimensiunile, forma și poziția reciprocă a suprafețelor.
- **Starea suprafețelor**: Rugozitatea și lipsa defectelor macroscopice (fisuri, crăpături, pori, exfolieri, etc).
- **Proprietățile fizico-mecanice**: Rezistența materialului și duritatea sa superficială.
- **Comportamentul dinamic**: Echilibrarea statică și dinamică a componentelor.

Caracteristicile de bază ale cuplelor cinematice și îmbinărilor fixe includ amploarea jocului ori a strângerii, poziția corectă a pieselor și forțele de strângere aplicate. În același timp, **calitatea generală a recondiționării subansamblurilor** este confirmată de randamentul obținut și de parametrii funcționali (putere, debit, presiune, viteză etc.). Pentru ambele categorii, indicatorii esențiali de comportament în rulare sunt nivelurile de zgomot, vibrațiile și gradul de încălzire. Foarte mulți dintre acești indici tehnici de calitate ai recondiționării sunt incluși în condițiile tehnice de control și sortare a pieselor în structura procesului tehnologic aplicat la recondiționare, prelucrarea mecanică a pieselor, asamblare, rodajul și încercarea mașinilor, utilajelor și instalațiilor [9].

Precizia dimensională se controlează cu mijloace de măsurare universale sau speciale.

Grosimea pieselor subțiri, table, benzi etc , se poate măsura cu mijloace obișnuite, prin metoda evaluării directe sau prin metoda diferenței. Probleme deosebite ridică măsurarea straturilor depuse (prin sudare, metalizare, galvanizare, vopsire etc.) și a grosimii în flux, în procesul de laminare a tablelor și a foliilor din materiale sintetice, a hârtiei etc.

În aceste situații, se folosește metoda controlului cu izotopi radioactivi ca în figura 12.1. a și b. În ambele variante, substanța radioactivă conținută în caseta cu izotopi 1, emite particule β, care sunt reflectate de obiectul de măsurat (figura 12.1. a) sau de reflectorul metalic 4 pe care se deplasează obiectul de măsurat 3 și apoi sunt captate în camera de ionizare 2, apărând un curent, a cărui intensitate depinde de grosimea obiectului măsurat [9].

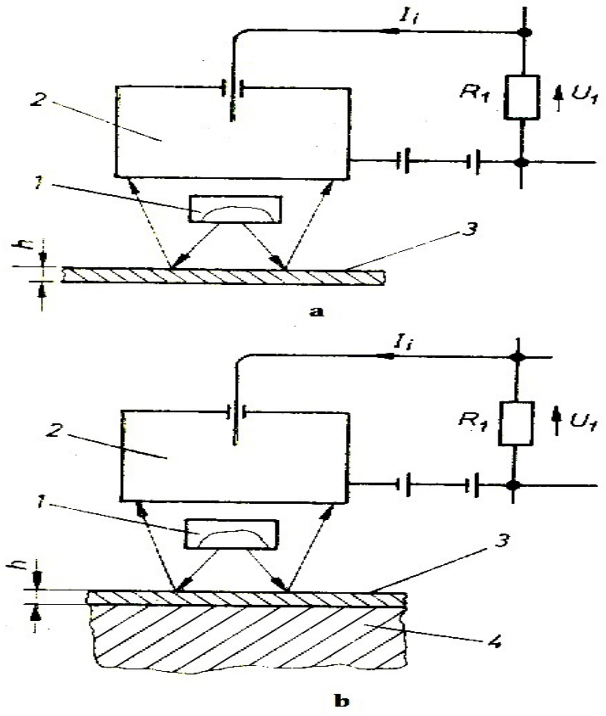


Fig. 12.1. *Măsurarea grosimilor folosind metoda cu izotopi radioactivi*

Rectilitatea se poate controla cel mai ușor prin compararea dreptei reale cu o dreaptă adiacentă sau de referință. Aceasta din urmă poate fi realizată prn muchia unei rigle de verificare, cu muchii active, printr-un fir bine întins; ea poate fi conținută în suprfața plană activă a unei rigle de verificare ori a unei plăci de control sau un ax a unui sistem optic. Riglele de verificare sunt măsuri fără repere folosite pentru controlul rectilinității și planității [9]. Ele pot avea una sau mai multe muchii, respectiv suprafețe active [9].

Abaterile de la rectilinitate pot fi măsurate prin metoda fantei luminoase, metoda de măsurare cu comparatorul și placa de control, metoda firului întins, metoda cu raze laser și metoda cu lunetă și miră. Ultimele 3 metode se aplică la verificarea pieselor mari (de exemplu la ghidajele mașinilor unelte)

Planeitatea suprafețelor. Pentru determinarea planeității, suprafața de analizat se compară cu o suprafață etalon, utilizându-se de cele mai multe ori suprafața activă a unei plăci de control. Cea mai simplă metodă de verificare a planeității este cea cu vopsea indicatoare.

Măsurarea abaterilor de la poziția reciprocă a suprafețelor. Pentru ca abaterile de formă să nu afecteze măsurarea abaterilor de poziție, mijloacele de măsurare nu se sprijină direct pe piesă. Contactul se va realiza exclusiv pe suprafețele active ale unor piese de control, rigle de verificare, cepuri sau dornuri [10].

Măsurarea abaterilor de la paralelism a două suprafețe plane se definește ca diferența distanțelor (maximă și minimă) dintre planele adiacente, în limitele lungimii de referință. Piesa de controlat se așează pe suprafața activă a unei plăci de control ca în figura 12.2.,care în acest caz, are rolul uneia dintre suprafețele adiacente, în timp ce pe suprafața opusă, liberă, se așează o riglă de verificare cu suprafețe active. Paralelismul, în limitele lungimii de referință fixate, se controlează cu ajutorul unui comparator cu

cadran, a cărui stativ se sprijină pe suprafața activă a plăcii de control, iar vârful de măsurare al instrumentului indicator, pe suprafața activă liberă a riglei de verificare [9].

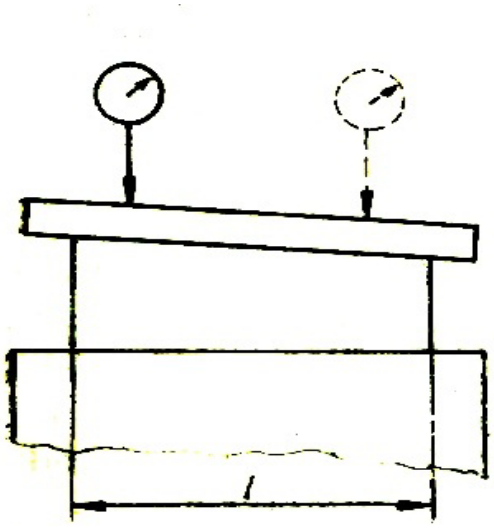


Fig.12.2. *Măsurarea abaterilorde la paralelism*

Pentru măsurarea abaterilor de la perpendicularitate, se realizează cu ajutorul echerelor de control, fiind recomandate cele cilindrice. Pentru o măsurare exactă, se utilizează instrumente indicatoare fixate pe suporturi cu prismă, asigurând astfel o sprijinire stabilă pe suprafețele de referință. Se impune sprijinirea organelor de contact ale instrumentelor indicatoare pe suprafețele adiacente și nu direct pe acelea controlate.

Bătaia radială reprezintă diferența dintre distanța maximă și cea minimă măsurate, pe o lungime de referință determinată, între suprafața efectivă a piesei și axa sa de rotație. Ea se determină sprijinind piesa pe un dispozitiv cu vârfuri, pe a cărui suprafață plană de referință se așează suportul instrumentului indicator, în timp ce vârful de măsurare al acestuia este așezat pe generatoarea piesei ce se controlează. Piesele cu alezaj central cum sunt de exemplu: rulmenții și roțile, se introduc pe dornul de măsurare. [9]

Bătaia frontală reprezintă consecința directă a abaterii de la perpendicularitate a suprafețelor frontale în raport cu axa de rotație a piesei. Ea se determină sprijinind piesa între vârfurile unui dispozitiv de centrare; vârful de măsurare al instrumentului indicator se sprijină pe suprafața controlată la o distanță dată, față de axa de rotație, care reprezintă lungimea de referință.

Abaterea de la coaxialitate reprezintă distanța maximă măsurată în limitele lungimii de referință între axa suprafeței adiacente și baza de referință care, la rândul ei, poate fi axa uneia dintre suprafețele adiacente de rotație, ori axa comună a mai multor suprafețe de rotație. În cazul suprafețelor cilindrice interioare, ca exemplu lagărele unui reductor, abaterea de la coaxialitate se determină cu ajutorul unor dornuri de măsurare. Acestea se introduc fără joc în ajustajele respective ca în figura 12.3 [9]. În cazul suprafețelor cilindrice exterioare, evaluarea abaterii de la coaxialitate se realizează prin fixarea piesei între vârfuri, iar valoarea excentricității se calculează ca fiind jumătate din bătaia radială măsurată.

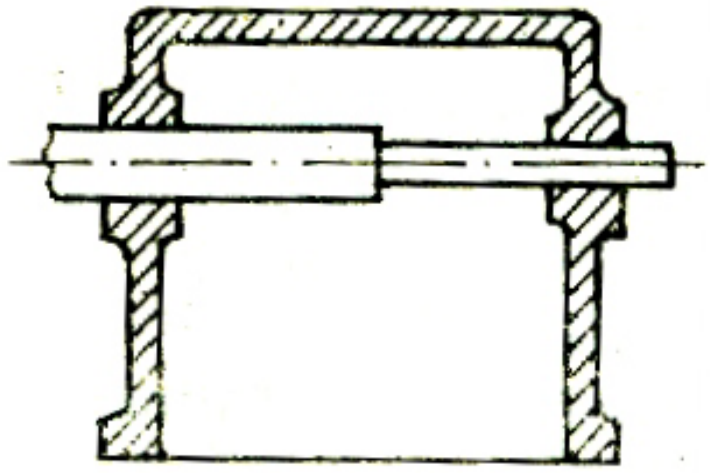


Fig.12.3. *Determinarea abaterilor de la coaxialitate folosind dornuri*

Concentricitatea. Pentru măsurarea abaterilor de la concentricitate, care reprezintă cazul particular al abaterii de la coaxialitate, când lungimea de referință este considerată egală cu 0, se folosesc metode asemănătoare, dar piesele de controlat se pot sprijini și pe prisme (figura12.4.) [9].

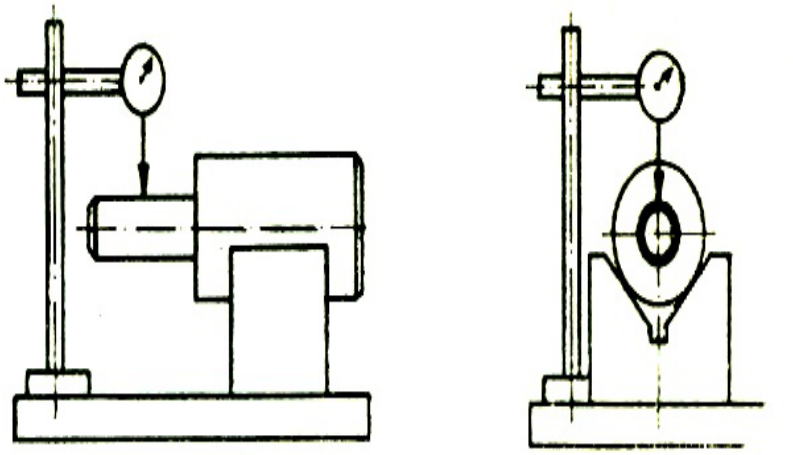


Fig. 12.4. *Măsurarea abaterilor de la concentricitate la piese sprijinite pe prisme*

Abaterile de la intersectare se determină în cazul mecanismelor care au organe cu axe concurente. În acest scop, se întrebuințează dornuri de măsurare cu dimensiuni corespunzătoare, care se introduc în lagărele respectivelor corpuri de mașini. În lipsa dornurilor de măsurare respective, măsurările se pot face chiar pe arborii mecanismelor, deasupra cărora se așează o riglă de verificare, cu suprafețe active, astfel ca palpatorul aparatului de măsurare să nu se sprijine pe suprafața arborilor.

Metodele de determinare a rugozității suprafețelor se clasifică, în funcție de modul de interacțiune cu piesa, în două categorii principale: ***metode fără contact*** și ***metode cu contact***:

- **Metode fără contact.** Metodele fără contact se limitează la cercetarea unor porțiuni mici de suprafață, folosindu-se mijloace de măsurare optice sau pneumatice. Pentru aprecierea suprafețelor pieselor recondiționate se folosesc ***metoda comparației cu mostre de rugozitate*** și ***metoda secțiunii luminoase*** [9].

- ✓ **Metoda comparației cu mostre de rugozitate** constă în compararea suprafeței de controlat cu o suprafață de referință, având aceeași formă ca și suprafața de controlat și materializând asperități cu o valoare anumită, care se pot obține prin diferite prelucrări (strunjire, frezare, rectificare etc.). În cazul unor asperități mari, evaluarea se poate realiza prin examinare vizuală directă sau cu ajutorul unei lupe. Când asperitățile sunt mici, se foloseşte un microscop de comparație precum cel prezentat în figura 12.5.

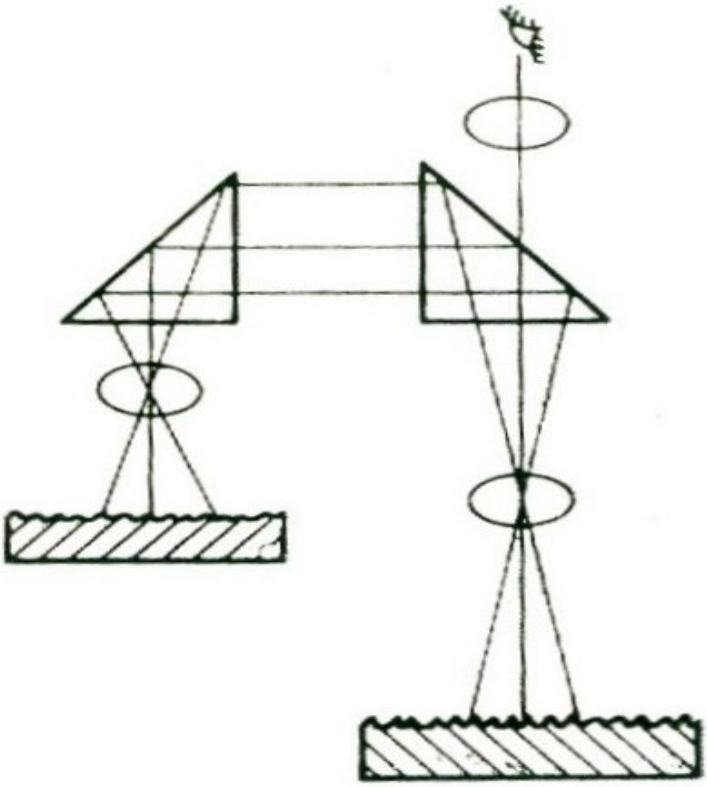


Fig.12.5. *Microscop de comparaţie*

Această metodă nu dă valori de rugozitate, ci indică doar dacă rugozitatea suprafeței controlate se încadrează între limitele prescrise.

✓ ***Metoda secțiunii luminoase.***

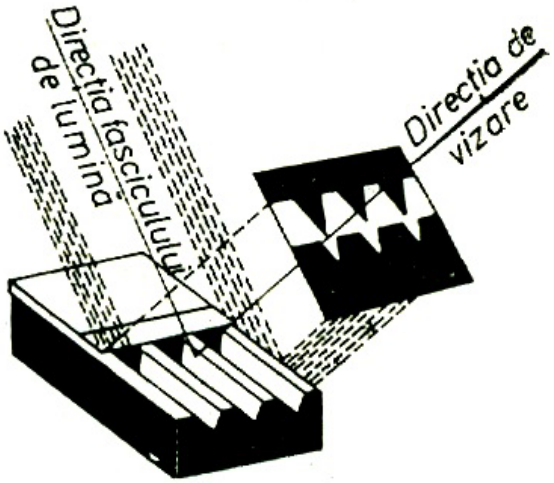


Fig. 12.6. *Principiul secţiunii luminoase*

Această metodă permite determinarea rugozității maxime cu ajutorul microscopului dublu (figura 12.7.).

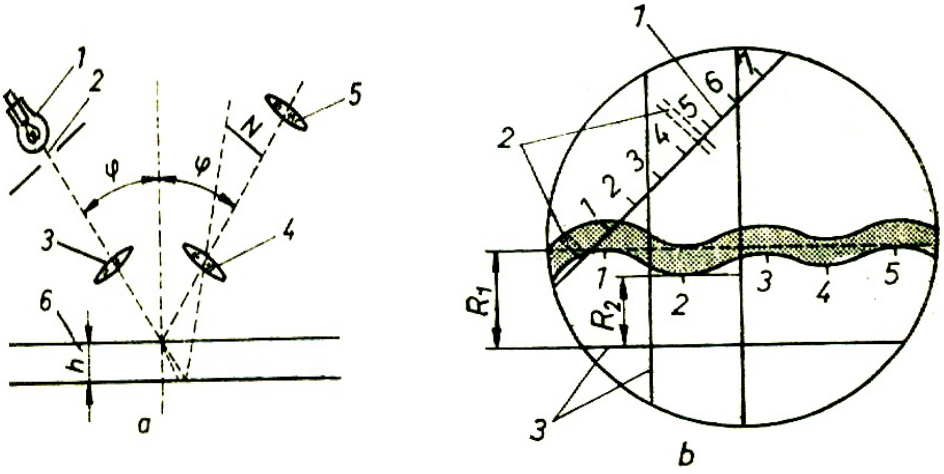


Fig.12.7. *Microscopul dublu:*

a – schema ; b – câmpul vizual al capului ocular.

Razele de lumină de la sursa 1, trec printr-un filtru, apoi prin fanta (cu lățimea de 0,1 mm și lungimea de 7 mm) din diafragma 2 și prin obiectivul schimbabil 3, ajungând la suprafața cercetată 6, reflectându-se, fasciculul de raze ia imaginea microneregularități și după ce trece prin obiectivul schimbabil 4, se proiectează în capul ocular cu lentila ocular 5 [9.] Sursa 1, filtrul de lumină, diafragma 2 și obiectivul 3, sunt motate în tubul colimatorului, iar obiectivul 4, un sistem optic intermediar și capul ocular cu lentila 5 sunt montate în tubul microscopului de vizare [9]. Cele două tuburi sunt înclinate față de planul vertical, cu un unghi $\varphi = 45^0$ între ele formându-se unghiul $2\varphi = 90^0$. Dacă se notează cu h înălțimea microneregularităților și cu „v" , grosismentul obiectivului 4, mărimea „N" a imaginii fantei de lumină (microprofilul sub formă de fantă) va fi:

$$N = 2hv \cdot \sin\varphi, \qquad (12.1)$$

de unde:

$$h = N/2v \cdot \sin\varphi \ (\mu m) \qquad (12.2)$$

- **Metodele cu contact** au o răspândire mai largă, deoarece dau valori ale parametrilor de rugozitate standardizați, exploatarea suprafețelor făcându-se în lungul unei linii, în condiții de lucru ușor accesibile personalului cu pregătire medie. Mijloacele de măsurare folosite sunt profilometrele, profilografele etc.

Profilometrele sunt instalații de măsurare cu traductoare inductive, ori piezoelectrice, capabile să dea pe scara de repere, valori ale abaterii medii aritmetice a profilului (R_a) sau a înălțimii neregularităților în zece puncte (R_z) [9].

Profilografele sunt aparate opticomecanice, care înscriu pe diagrama microprofilului rugozității la o anumită scară. De pe diagrama respectivă, se pot scoate valorile tuturor parametrilor de rugozitate standardizați, adică R_a, R_z, și R_{max} [9].

Asperitățile cu suprafețe foarte mici, pot fi analizate cu ajutorul microscoapelor interferometrice și electronice.

Microscopul electronic cu baleiaj de tip (SEM) FEI - Phenom™ este prezentat în figura de mai jos [8].



Fig.12.8. *Microscopul electronic tip FEI*

Sursa: Foto arhivă personală

Acesta este un microscop electronic de înaltă rezoluție, cu dimensiuni reduse, cu interval de mărire cuprins între 20 și 45000X, este dotat cu interfață de utilizare cu ecran tactil, butonul de comandă și camera optică. Toate acestea permit obținerea rapidă de imagini de înaltă calitate de pana la 2048 x 2048 pixeli, 2.9 nm, Phenom poate manipula un domeniu larg de probe care necesită o pregătire minimă și care pot fi încărcate instantaneu datorită tehnologiei ‘’low vacuum load-lock’’ [8].

În cazul când se doreşte punerea în evidenţă cât mai bine a formelor de rupere, în special la materialele amorfe, atunci se procedează la depunerea unui strat foarte subţire de aur de ordinul sutimilor de microni. Această depunere se realizează cu ajutorul unui dispozitiv prezentat în figura 12.9 [8].



Fig.12.9. *Dispozitiv electronic pentru depunerea aurului pe epruvetele de rupere*

Sursa: Foto arhivă personală

Alegerea aurului ca material de depunere s-a făcut datorită proprietăţilor foarte bune de reflexie şi datorită aderentei lui aproape la orice materiale, iar această metodă utilizată este de dată mai recentă. Dispozitivul de depunere a aurului este legat la calculatorul de proces a microscopului electronic [8]. Această depunere poate fi făcută pe: mase plastice, materiale compozite, materiale ceramice, aliaje neferoase şi materiale metalice avansate. După depunerea aurului pe probe ele sunt analizate la microscopul electronic observându-se cele mai mici detalii referitor la forma de rupere. Dacă ruperea a fost ductilă atunci se observă o desprindere lină a grăunţilor,

fără vârfuri ascuţite, o rupere intercristalină. Dacă ruperea a fost fragilă atunci vom observa o smulgere a grăunţilor, deci ruperea este transcristalină.

Încercările de duritate servesc la punerea în evidență a rezistenței opuse de un material la pătrunderea în suprafața lui a unui corp străin. Duritatea se determină printr-o mare varietate de metode, care se deosebesc prin principiul folosit. La determinarea durității materialelor se iau în considerare mărimea urmelor produse de un corp de o anumită formă, numit penetrator, care a fost imprimat în probă sub acțiunea unei forțe definite, înălțimea sau unghiul de ricoșare a percutorului după impactul cu proba [9]. Metodele de determinare a durității se clasifică în funcție de forța care acționează asupra penetratorului în:

- ***metode statice (viteza de acționare limitată sub 1mm/sec)*** și
- ***metode dinamice(viteze de acționare mari, căderea liberă, lovire).***

Metodele statice se deosebesc între ele în principal, prin forma penetratorului, condiții de lucru, dimensiuni caracteristice a urmelor (Brinell, Rockwell , Vickers etc.).

Determinarea durității se poate realiza și prin alte metode, care prezintă însă o acuratețe mai scăzută. Printre acestea se numără metodele magnetice, electrice, încercarea prin zgâriere sau încercarea de rulare cu bile.

Determinarea durității prin metoda Brinell constă din imprimarea cu o forță F a unei bile de oțel cu diametrul prescris D, (figura 12.10.), perpendicular pe suprafața piesei de încercat [9]**.**

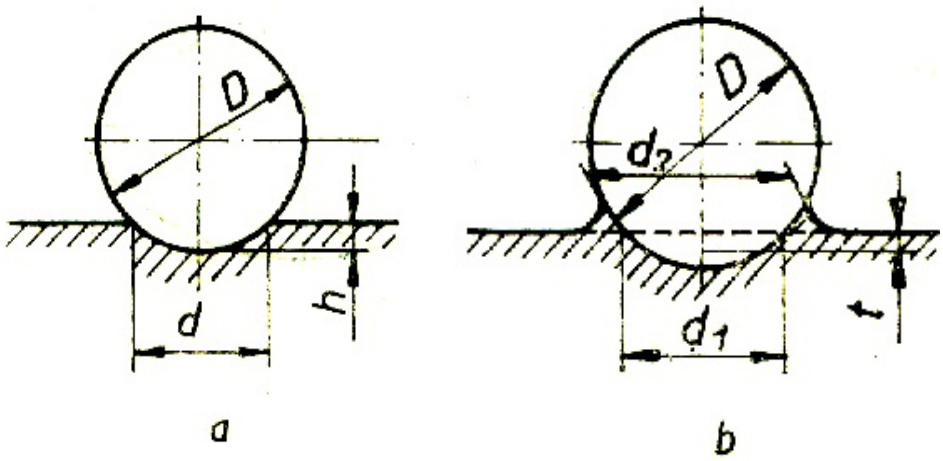


Fig.12.10. *Principiul de măsurare a durităţii Brinell:*
a – cu bile din oţel; b- cu bile din carburi metalice.

Duritatea Brinell HB, se exprimă prin raportarea forței la suprafața calotei sferice S a urmei permanente după îndepărtarea penetratorului.

$$\mathbf{HB = F/S} \qquad (12.3)$$

HB se exprimă ca o valoare convențională, renunțându-se la folosirea unităților de măsură.

Suprafața calotei sferice se obține după măsurarea diametrului *d* al acesteia cu o lupă, microscop, sau prin proiectarea pe un ecran gradat.

În vederea simplificării obținerii valorii durității în funcție de diametrul urmelor *d*, s-au întocmit tabele pentru diametre de bile penetratoare standardizate D și forțe de încercare normalizate F [10]. Grosimea minimă a probelor supuse încercării, trebuie să fie de 8 ori adâncimea urmei, în vederea evitării influenței suportului probei [10]. La determinarea durității cu bile de oțel, valoarea maximă este de 450 HB, peste această valoare deformațiile bilei denaturează diametrul urmei lăsate de bilă pe suprafața probei și implicit rezultatele măsurătorilor [9].

Determinarea durității prin metoda Rockwell constă în măsurarea urmei remanente a unui penetrator față de un plan de referință ales convențional. Procedeul de determinare al durității cuprinde trei faze (figura 12.11.) [9].

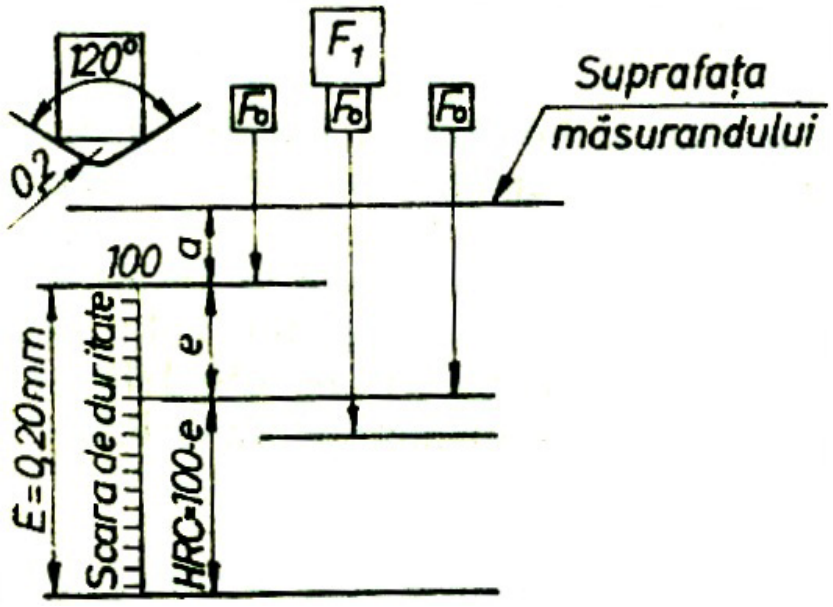


Fig.12.11. *Principiul măsurarii durităţii Rockwell, cu con de diamant*

Se aplică o sarcină inițială F_0 sub acțiunea căreia, penetratorul pătrunde în material pe o adâncime a; peste sarcina F_0, se aplică o suprasarcină F_1 prin acțiunea căreia, adâncimea de pătrundere crește; se anulează suprasarcina F_1, menținându-se sarcina F_0 . Penetratorul rămâne la adâncimea cu valoarea ”**e„** mai mare decât a fost la acțiunea sarcinii F_0. Duritatea are valoarea:

$$HR = E - e \qquad (12.4)$$

unde: E = 100 în varianta Rockwell C (con)

E = 130 în variata Rockwell B (bilă)

Există două variante de măsurare a durităţii **Rockwell** şi anume în varianta **Rockwell C cu con**, precum şi variata **Rockwell B cu bilă** **(**figura 12.12).



Fig.12.12. *Măsurare a durităţii Rockwell*

Sursa: Foto arhivă personală

În cazul metalelor dure se folosește un penetrator din diamant, în formă de con, având unghiul la vârf de 120± 5^0, iar pentru materiale mai puțin dure, o bilă de oțel cu diametrul de 1/16 inch.

Determinarea durității prin metada Vickers se bazează pe un principiu similar cu cel al metodei Brinell. Aceasta constă în presarea unui penetrator de diamant – având forma unei piramide patrulatere drepte cu un unghi la vârf de 136° – cu o forță determinată F pe suprafața materialului de încercat.

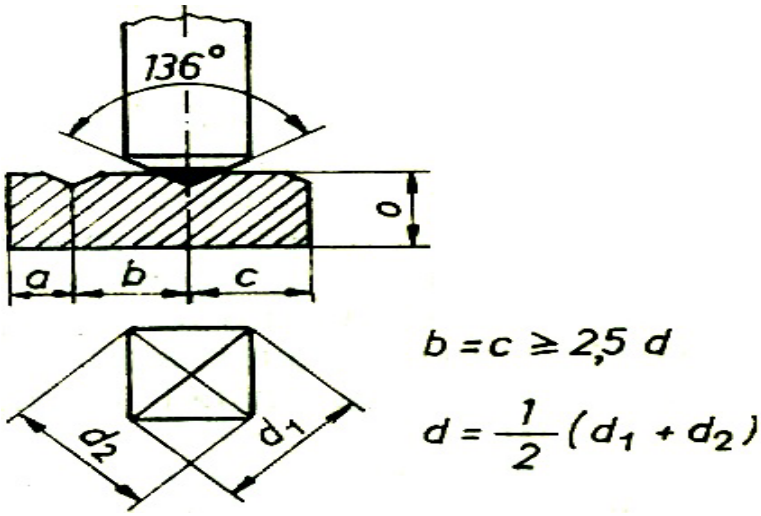


Fig.12.13. *Principiul măsurării durităţii Vickers*

Duritatea Vickers simbolizată (HV) se calculează ca raport între forța de apăsare F și aria suprafeței laterale S a urmei remanente generate de corpul penetrator:

HV = F/S (12.5)

În practică, lungimea diagonalei se măsoară cu un microscop special sau cu un proiector, iar valoarea durității corespunzătoare diagonalei respective se ia din tabele. Metoda se recomandă pentru piese foarte subțiri, de exemplu table pentru suprafețele metalizate, sau încărcate prin acoperiri galvanice.

În practica industrială controlul etanșeității se realizează prin metode cu niveluri diferite de precizie, neexistând o tehnică universală capabilă să detecteze absolut orice pierdere de fluid, oricât ar fi ea de mică. Prin urmare, selecția metodei optime de control se face întotdeauna în funcție de cerințele tehnice ale instalației și de gradul de periculozitate al fluidelor vehiculate.

Orice defect de etanșeitate provoacă, în mod inevitabil, pierderi de fluid. Aceste scăpări pot afecta negativ funcționarea instalației prin diminuarea presiunii și modificarea debitelor, generând totodată pierderi economice prin irosirea fluidelor sau prin consumul suplimentar de energie necesar compensării lor. În cazurile cele mai grave, când fluidele vehiculate sunt toxice, inflamabile sau explozive, neetanșeitățile pot declanșa accidente severe de muncă sau daune materiale majore.

Metodele pentru verificarea etanșeității se pot grupa în:

- ***Metode de control al etanșeității bazate pe determinarea variației de presiune***, care includ:

– Proba hidraulică, este o metodă foarte răspândită și sigură de verificare a presiunii și etanșeității. Instalația se umple cu apă (sau alt lichid) la o presiune mai mare decât cea normală de lucru, urmărindu-se dacă apar scurgeri**.**

Avantajul principal îl constituie faptul că lichidele nu se pot comprima precum gazele; de aceea, chiar și o fisură mică va duce la o scădere rapidă a presiunii, fără să existe riscul ca utilajul să explodeze sau să se spargă în timpul verificării.

Ca dezavantaj, metoda poate descoperi doar fisuri sau goluri destul de mari. Defectele foarte fine nu pot fi observate, chiar dacă suprafața este dată cu var alb pentru contrast sau dacă se folosesc instrumente precum lupe, oglinzi și microscoape.

– Proba de presiune cu aer comprimat, presupune alimentarea instalației cu aer la o presiune ridicată, monitorizându-se ulterior evoluția acesteia pe un manometru. Această procedură implică riscuri majore de siguranță, deoarece compresibilitatea ridicată a aerului corelată cu valorile mari de presiune poate genera o acumulare masivă de energie, crescând pericolul de explozie a instalației.

De obicei, se folosesc presiuni mai scăzute pentru siguranță și se verifică dacă presiunea rămâne constantă o anumită perioadă. Instalația este considerată etanșă dacă, în acest interval de timp, acul manometrului rămâne nemișcat și nu arată nici o pierdere.

- ***Metoda de control cu vas compensator***, se bazează pe introducerea unui gaz sub presiune atât în piesa de verificat 1 (figura 12.14.), cât și într-un vas compensator (2). Odată ce presiunea s-a egalizat, legătura directă dintre ele se oprește prin închiderea robinetelor (4). Singura conexiune rămasă este un tub cu lichid (3). Dacă produsul verificat are o fisură și pierde gaz, presiunea din el scade, iar lichidul din tub se deplasează, semnalând imediat defecțiunea.

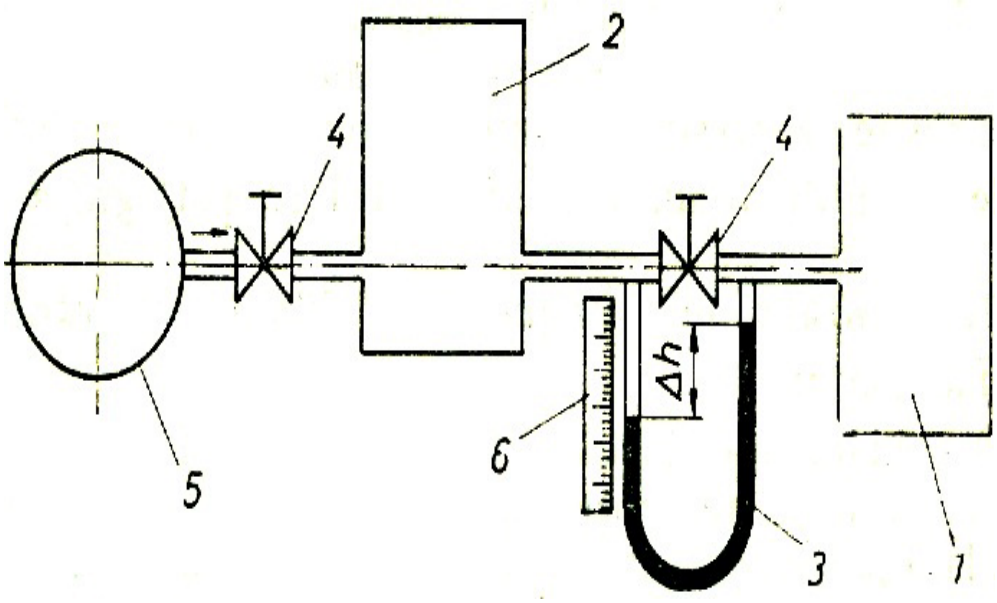


Fig.12.14. *Controlul etanşeităţii prin metoda cu vas compensator*

- ***Metoda pentru controlul etanșeității cu gaze*** **trasoare** servește la verificarea etanșeității prin introducerea unui gaz special, numit gaz trasor, pe o parte a peretelui controlat. Dacă peretele este fisurat, gazul trece pe partea cealaltă, unde este captat și măsurat**.** Gazul trasor ideal trebuie să aibă o concentrație redusă în atmosferă, să fie non-inflamabil, netoxic și ușor de identificat cu ajutorul unui analizor de gaz. Datorită acestor proprietăți, heliul este utilizat pe scară largă, oferind rezultate foarte bune.

În figura 12.15. este reprezentată schema de principiu a unei instalații de control cu gaze trasoare. Gazul trasor aflat sub presiune în butelia 1, este trimis în vasul controlat 4, prin intermediul unui reductor de presiune 2 al unor conducte și al robinetului 3. Eventualele scăpări de gaz sunt absorbite de captorul 5 (o ventuză sau o cameră închisă etc.), racordat la un circuit de vidare cu pompa de vid 7. Urmele de gaz trasor scăpate printr-o fisură sau un por sunt semnalate de detectorul 6. Acesta poate fi un analizor de gaze sau un spectrometru de masă, aparat care prin studierea spectrelor radiației electromagnetice a gazelor analizate, permite determinarea celor mai slabe urme de gaz.

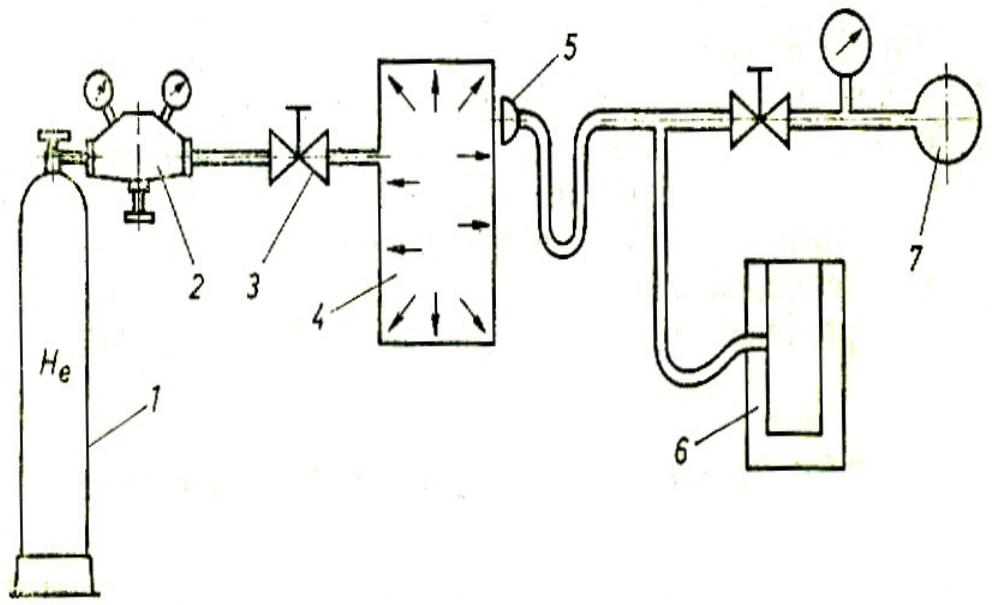


Fig.12.15. *Controlul etanşeităţii prin metoda cu gaz trasor*

O altă opțiune este folosirea freonului ca gaz trasor. Pentru a găsi fisurile, se folosește amoniacul: când acesta intră în contact cu vaporii de freon, se formează imediat o ceață albă, ușor de identificat.

- **Metoda de control cu bule de gaz în lichid** servește la verificarea etanșeității recipientelor sub presiune. Aceasta presupune identificarea scurgerilor prin formarea unor bule de gaz, fie prin scufundarea vasului în apă, fie prin aplicarea unei emulsii de apă cu săpun sau detergenți pe suprafața acestuia.

Deși aerul este gazul cel mai frecvent utilizat, sensibilitatea poate fi crescută prin folosirea hidrogenului sau a vaporilor de eter. Monitorizarea bulelor se poate face vizual, cu ochiul liber, sau prin metode avansate de înaltă precizie care utilizează detectoare cu ultrasunete sau celule fotoelectrice.

Concluzii: Procesul de recondiționare a pieselor și subansamblurilor se finalizează printr-un control tehnic riguros, menit să garanteze restabilirea performanțelor inițiale de funcționare și siguranță. Evaluarea calității suprafețelor prin metodele de determinare a rugozității, asigură obținerea geometriei corespunzătoare, esențială pentru reducerea frecării și prevenirea uzării premature. În paralel, structura și rezistența mecanică a straturilor recondiționate sunt validate prin încercările de duritate. Metoda Rockwell, prin măsurarea adâncimii de pătrundere, oferă o verificare rapidă și precisă pentru piese masive sau tratate termic, în timp ce metoda Vickers, bazată pe amprenta unei piramide de diamant, permite evaluarea fină a straturilor subțiri sau a zonelor cu geometrii complexe. Totodată, repunerea în funcțiune a subansamblurilor care vehiculează fluide depinde de testele de etanșeitate. Metodele bazate pe variația de presiune și în special, utilizarea vasului compensator permit detectarea rapidă a pierderilor totale prin monitorizarea diferențelor de volum sau presiune în timp. Pentru o localizare de mare precizie a microfisurilor, controlul cu gaze trasoare, precum heliul, oferă o sensibilitate foarte ridicată, ideală pentru cerințe riguroase de izolare. În timp ce metoda simplă, vizuală, cu bule de gaz în lichid, rămâne o soluție eficientă și economică pentru identificarea imediată a punctelor de neetanșeitate la presiuni joase și medii.

BIBLIOGRAFIE

1. Binchiciu, H. 1992. *Încărcarea prin sudare cu arc electric.* Bucureşti: Editura Tehnică.
2. Burca, M., Negoitescu, S. 2002. *Sudarea MIG/MAG.* Timișoara: Editura Sudura.
3. Chiriacescu, T.S. ş.a. 2008. *Introducere în teoria elasticităţii şi rezistenţa materialelor.* Braşov: Editura Universităţii Transilvania din Braşov.
4. Iovănaș R., ș.a. 2006. *Recondiționarea și remanierea produselor sudate.* Braşov: Editura Universităţii Transilvania din Braşov.
5. Novac, B. 2011. *Contribuții privind folosirea vibrațiilor mecanice la tratamentul termic și termochimic al oțelurilor folosite în mecanica fină.* Teză doctorat, Universitatea ”Transilvania” din Brașov.
6. Novac, B. 2020. Experiments on Obtaining Silicified Welded Joints Using Mechanical Vibrations. *RECENT Journal,* 21(3), pp. 125-129.
7. Novac, B. 2020. Installation for Producing Mechanical Vibrations used in the Finishing of the Welded Joints Structure*. Analele Universității ”Ovidius” din Constanța,* 22(1), pp. 79-84.
8. Novac, B. 2022. Research on the behavior of mechanical parts from equipment used in construction and thermal treatment with and without vibration. *Ovidius University Annals of Constanta, Series Civil Engineering,* 24(1), pp. 80-85.
9. Rădoi, M., ș.a. 1986. *Recondiționarea pieselor*. Bucureşti: Editura Tehnică.
10. Răduţ, N., ş.a. 1983. *Recondiţionarea pieselor*. Bucureşti: Editura Militară.
11. Sălăgean, T. 1986. *Tehnologia sudării metalelor cu arc electric*. Bucureşti: Editura Tehnică.

12. Stoica, R., Novac, B., ș.a. 2010. „Automatic visual inspection of matte surfaces”. In *The 12th International Conference of Scientific Papers – Scientififc Research and Education in the Air Force*, AFASES, 27-29 May, 2010, pp. 908-911. Transilvania University of Braşov.