



HIMACROW.EU

HIMACROW

Harmonized Personnel Training for Macro and Microscopic
Metallographic Examination of Structural Materials



Educational Materials for HIMACROW Training Course

For the Personnel with the responsibility for **Macroscopic**
and **Microscopic** Metallographic Examination of Base
Materials and their Joints Made by Welding and Allied
Techniques (**Standard & Comprehensive Levels**).

Project Nr. 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835.



<https://himacrow.eu/>



The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein. Project Nr. 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835





Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



HIMACROW

Harmonized Personnel Training for Macro and Microscopic
Metallographic Examination of Structural Materials

O3 Materiale Educaționale Pentru Cursul de Formare HIMACROW

Project Nr° 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835



*Acest proiect a fost finanțat cu sprijinul Comisiei Europene. Această publicație reflectă numai punctul de vedere al autorului, iar Comisia nu poate fi făcută responsabilă pentru orice utilizare care poate fi făcută a informațiilor conținute în ea.
ERASMUS+: Proiect nr° 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835.*

Cuprins

1.	CU1 Introducere în Examinarea Metalografică	10
1.1.	Tipurile de examinare metalografică; condițiile de siguranță în timpul pregătirii specimenelor pentru examinările metalografice.....	10
1.1.1.	Siguranța prelevării de probe	10
1.1.2.	Montarea în condiții de siguranță	10
1.1.3.	Siguranța în pregătirea mecanică.....	11
1.1.4.	Siguranța în electroliză și atac electrochimic.....	12
1.1.5.	Siguranța în atacul chimic (materiale toxice și inflamabile).....	12
1.2.	Metode de pregătire a specimenelor pentru examinarea macro și microscopică	15
1.2.1.	Eșantionarea.....	15
1.2.2.	Montarea.....	15
1.2.3.	Marcarea	16
1.2.4.	Curățarea.....	16
1.2.5.	Pregătirea mecanică a suprafețelor, rectificare	17
1.2.6.	Pregătirea mecanică a suprafeței, lustruire.....	18
1.2.7.	Lustruirea electrolitică.....	18
1.2.8.	Gravură.....	18
1.3.	Examinarea microscopică și aplicarea ei în tehnologia sudări	19
1.3.1.	Prezentare generală a examinării macroscopice	20
1.3.2.	Caracteristici macroscopice ale îmbinărilor.....	26
1.3.3.	Defecte ale îmbinărilor sudate	36
1.3.4.	Evaluarea calității sudurii.....	51
1.4.	Demonstrarea capacităților microscopului de scanare	80
1.4.1.	Examinarea suprafețelor de fractura.....	82
1.4.2.	SEM aplicat la analiza defecțiunilor aliajelor metalice și a îmbinărilor lor de sudură	85
1.4.3.	Aspecte microstructurale ale unei structuri	89
2.	CU2: Metode specifice pentru pregătirea probelor pentru examinări macro și microscopice	90
2.1.	Lustruire electrolitică, lustruire chimică, atac color – scop și aplicare	90
2.1.1.	Introducere în lustruirea electrolitică. Definiție, scop și cum funcționează	90
2.1.2.	Principiul lustruirii chimice	103
2.1.3.	Atacul colorat. Definiție și scop	113
2.1.4.	A Diferențele dintre lustruirea electrolitică, lustruirea chimică, atacul colorat.....	123



2.2.	Demonstrație de lustruire electrolică și gravare colorată	132
2.2.1.	Lustruire electrolică – scop, aplicare și demonstrație	133
2.2.2.	Tehnici de inspecție vizuală pentru identificarea imperfecțiunii sudurii	134
2.2.3.	Examinarea macroscopică a îmbinărilor sudate	142
2.2.4.	Manipularea și eliminarea electroliților din lustruirea electrolică.....	149
2.2.5.	Documentarea și raportarea imperfecțiunilor sudurii.....	151
2.2.6.	Exemple reale de lustruire electrolică și gravare colorată.....	154
2.2.7.	Gravura colorată – scop, aplicare și demonstrație.....	156
2.2.8.	Practică cu Gravură colorată.....	159
2.2.9.	Probleme comune și soluție atunci când se utilizează gravarea colorată pentru prepararea probelor metalografice.....	171
2.2.10.	Manipularea și eliminarea reactivilor de la gravarea colorată.....	178
2.2.11.	Diagnosticare și sfaturi în probe metalografice gravate colorate.....	180
2.2.12.	Exemple reale de gravare colorată.....	181
2.2.13.	Înțelegeți și descrieți diferențele în ceea ce privește efectele lor asupra fin-isajului suprafeței și microstructurii probei.....	182
2.3	Analiza imaginilor ca instrument în examinarea metalografică.....	186
2.3.1.	Prelevarea și pregătirea probelor	186
2.3.2.	Selecția câmpurilor	186
2.3.3.	Măsurători 2D	187
2.3.3.1.	Decarburare	187
2.3.3.2.	Adâncimea tratamentelor termice de suprafață	188
2.3.3.3.	Grosimea stratului de acoperire	188
2.3.3.4.	Adâncimea coroziunii	188
2.3.4.	Determinarea fracției de volum	189
2.3.5.	Dimensiunea grăuntelui	198
2.4.	Demonstrarea capacităților programului pentru analiza imaginilor.....	209
2.4.1.	Pregătirea probelor	209
2.4.2.	Demonstrarea unor cazuri practice de determinare a Feritei Delta.....	210
2.4.3.	Demonstrarea unor cazuri practice de evaluare a procentului de porozitate	218
2.4.4.	Demonstrarea unor cazuri practice de măsurare a mărimii granulelor.....	224
2.5.	Introducere în microscopia de scanare	229
2.5.1.	Moduri de operare	233
2.5.2.	Forme de contrast	238
2.5.3.	Rezoluție și îmbunătățire a contrastului.....	240



2.5.4.	Cerințe de specimen.....	241
2.5.5.	Analiza EDS	242
2.6.	Demonstrarea capacităților microscopului de scanare	245
2.6.1.	Examinarea suprafețelor de fractură.....	245
2.6.2.	SEM aplicat la analiza defectărilor aliajelor metalice și a îmbinărilor lor de sudură	252
2.6.3.	Examinarea suprafețelor de fractură.....	245
3.	CU3: Demonstrații în examinarea macro și microscopică	259
3.1.	Demonstrarea evaluării probelor macroscopice de articulații	259
3.1.1.	Considerații generale.....	259
3.1.2.	Analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite	260
3.1.3.	Analiza macroscopică a materialelor metalice pe suprafețe nepregătite permite examinarea și evaluarea acestor caracteristici structurale.....	262
3.1.4.	Analiza macroscopică pe suprafețe pregătite	265
3.1.5.	Examinări macroscopice ale materialelor metalice pe suprafețe pregătite	273
3.1.6.	Întrebări.....	274
3.2.	Instruire practică în identificarea fără ajutor a imperfecțiunilor sudurii pe eșantioanele macroscopice	275
3.2.1.	Introducere în imperfecțiunile sudurii.....	275
3.2.2.	Tehnici de inspecție vizuală pentru identificarea imperfecțiunilor la sudare	286
3.2.3.	Examinarea macroscopică a îmbinărilor sudate	289
3.2.4.	Instruire practică în identificarea imperfecțiunilor sudurii	294
3.2.5.	Documentarea și raportarea imperfecțiunilor în sudură.....	301
3.2.6.	Măsuri de siguranță în timpul inspecției sudurii.....	304
3.3.	Training practic pentru pregătirea probelor (Mhte).....	312
3.3.1.	Oțeluri carbon	312
3.3.2.	Oțel inoxidabil austenitic	314
3.3.3.	Cupru și aliaje	315
3.3.4.	Aluminiu și aliaje.....	315
3.3.5.	Titan și aliaje.....	315
3.3.6.	Polimeri	315
3.4.	Standarde pentru evaluarea calității îmbinărilor realizate prin sudură și tehnici conexe....	316
3.4.1.	EN ISO 17639 Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice - Examinarea macroscopică și microscopică a sudurilor	316
3.4.2.	ISO/TR 15608 Sudare - Ghid pentru un sistem de grupare a materialelor metalice....	316
3.4.3.	ISO/TR 17671-2 Sudare - Recomandări pentru sudarea materialelor metalice - Partea 2: Sudarea cu arc electric a oțelurilor feritice	317



3.4.4.	ISO/TR 16060 Încercări distructive la suduri în materiale metalice - Agenți de atac pentru examinare macroscopică și microscopică.....	317
3.4.5.	EN ISO 17637 Încercarea nedistructivă a sudurilor - Testare vizuală a îmbinărilor sudate prin topire	317
3.4.6.	ISO 15614-1 Specificarea și calificarea procedeelelor de sudare pentru materiale metalice - Testarea procedurii de sudare	317
3.4.7.	ISO 15614-2 Specificarea și calificarea procedeelelor de sudare pentru materiale metalice - Testul procedurii de sudare	318
3.4.8.	EN 10247 Examinarea microscopică a conținutului de incluziuni nemetalice a oțeluri folosind imagini standard	319
3.4.9.	ISO 6520-1, Sudare și procese conexe - Clasificarea imperfecțiunilor geometrice la materialele metalice.....	319
3.4.10.	ISO/TS 17845 Procese de sudare și procese conexe — Sistem de designare a imperfecțiunilor.....	319
3.4.11.	ISO 6520-1 Procese de sudare și procese conexe — Clasificarea imperfecțiunilor geometrice în materiale metalice.....	319
3.5.	Instruire practică pentru identificarea structurii microscopice a eșantionului.....	320
3.5.1.	Oțel aliat cu carbon redus	320
3.5.2.	Oțel inoxidabil austenitic	325
3.5.3.	Oțel inoxidabil duplex	329
3.5.4.	Structura martensitică.....	330
3.6.	Demonstrarea diferitelor tipuri de structuri microscopice (Mhte).....	332
3.6.1.	Analiza sudurilor	332
3.6.2.	Analiza fazelor	333
3.6.3.	Analiza porozității.....	334
3.6.4.	Decarburare	334
3.6.5.	Structuri din cupru.....	335
3.6.6.	Structuri din aluminiu	335
3.6.7.	Structuri din fontă	336
3.7.	Demonstrație a modurilor de pregătire a mostrelor pentru examinarea metalografică.....	338
3.7.1.	Testare macroscopică a etapelor de pregătire a mostrelor pentru examinarea metalografică	338
3.7.2.	Testare microscopică a etapelor de pregătire a mostrelor metalografice	340

Introducere generală (IIS)

Metalografia este studiul microstructurii aliajelor metalice. Poate fi definită mai precis ca disciplina științifică de observare a distribuției spațiale a granulelor, constituenților, incluziunilor sau fazelor din aliajele metalice, în raport cu proprietățile acestora, pe întregul interval de temperatură.

Una dintre primele abordări datează din aproximativ anii 1860, când Henry Clifton Sorby (10 mai 1826 – 9 martie 1908), a folosit asupra metalelor unele tehnici de petrografie și a observat structura acestora.

Acum era posibil să se asocieze caracteristica chimică, fizică și mecanică a unui metal sau aliaj metalic cu structura sa metalografică, pentru metalurgie, a fost trecerea de la știința empirică la cea reală.

Cu toate acestea, procesele din industria siderurgică de acum 120-130 de ani nu permit obținerea de aliaje metalice cu un control scăzut al incluziunilor sau impurităților; prin urmare, caracteristicile menționate mai sus au fost adesea aleatorii și nu ușor de reprodus. Consequently, the development of metallography techniques occurred in the last 50-60 years, after the development of iron and metal industry

Astăzi tehnicianul și analizatorul metalografi își găsesc spațiu relevant în industrie, în cadrul laboratoarelor metalurgice, controlul calității, cercetare-dezvoltare; aceste cifre necesită cunoștințe multiple în diverse sectoare științifice și industriale, trebuie să aibă o bună cunoaștere a metalurgiei aliajelor metalice și a sudabilitatea acestora.

Acest text își propune să ofere îndrumări atât practice, cât și teoretice pentru tehnicienii metalografi, analist, inginer și managerul de laborator.

Principalele teste metalografice pot fi împărțite în două mari familii: examinări macrografice și micrografice. Primul oferă informații macroscopice, de exemplu imperfecțiunile de sudură, în timp ce al doilea oferă informații microscopice, de exemplu tipul de microstructură, dimensiunea granulelor, conținutul de incluziuni și așa mai departe.

Examinarea macrografică își găsește, în general, locul în următoarele activități:

- • Certificarea procedurii de sudare și a personalului de sudare.
- • Optimizarea procesului de sudare.
- • Controlul calității în timpul producției.
- • Analiza eșecului.

În schimb, examinarea micrografică în următoarele aplicații:

- Controlul calității în timpul producției
- Optimizarea procesului de sudare
- Evaluarea duratei de funcționare pe termen lung pentru unele tipuri de aliaje.
- Analiza eșecului.
- Cercetare și dezvoltare.

Tehnicile de preparare, instrumentele de analiză și informațiile pe care le putem obține prin examinări metalografice vor fi descrise în capitolele următoare.



Fig. 1.1 - Henry Clifton Sorby (10 Mai 1826 – 9 Martie 1908).

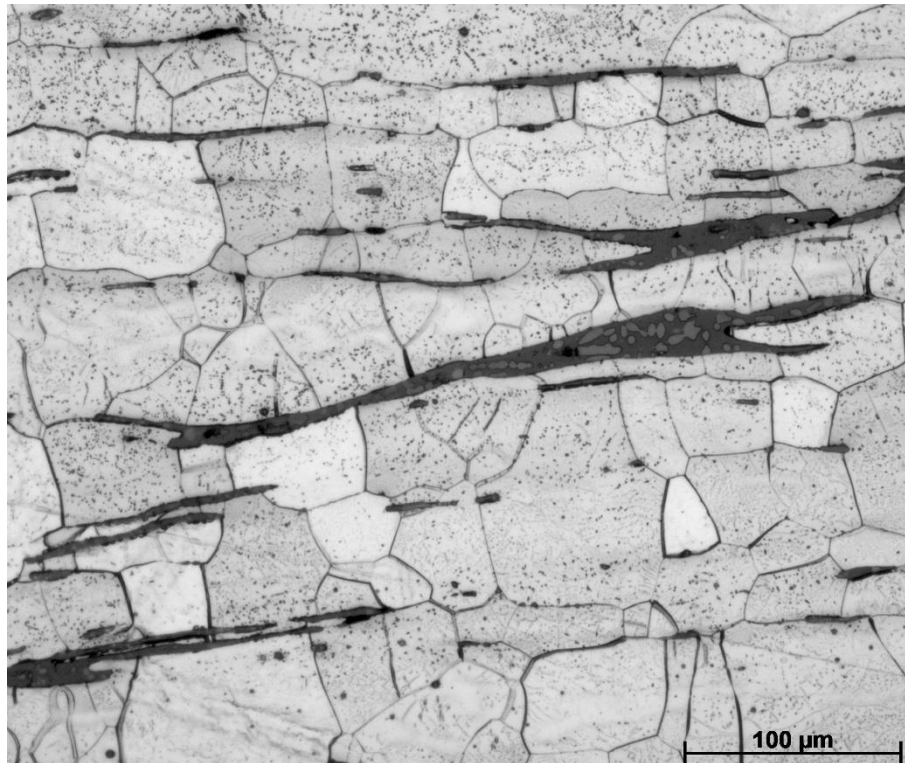


Fig. 1.2 – detaliu micrografic al unui oțel luat de pe un pod de cale ferată din 1880.

1. CU1 Introducere în Examinarea Metalografică

O parte foarte importantă a testării materialelor este examinarea metalografică. Compoziția chimică, macrostructura și microstructura materialelor determină proprietățile acestora. Examinarea metalografică cuprinde cunoașterea pregătirii speciimenelor metalografice și a metodelor de examinare, cum ar fi microscopia optică, analiza imaginilor și altele. Specialistul în metalografie trebuie să cunoască regulile și reglementările importante privind securitatea ocupațională.

1.1. Tipurile de examinare metalografică; condițiile de siguranță în timpul pregătirii speciimenelor pentru examinările metalografice.

Siguranța și sănătatea ocupațională sunt importante în laboratoarele metalografice, având în vedere utilizarea de mașini, substanțe chimice, materiale plastice, etc., făcând imperativă respectarea tuturor regulilor și reglementărilor relevante privind siguranța ocupațională. Laboratorul, care are funcții precum tăierea, pregătirea speciimenelor și gravarea, implică mai multe pericole potențiale. Cele mai importante precauții referitoare la siguranță și sănătate sunt menționate în continuare, având în vedere că nu sunt menționate toate pericolele potențiale sau măsurile necesare de siguranță și sănătate. Toate materialele stocate în laborator trebuie să aibă o Foaie de Date privind Siguranța Materialelor (MSDS). Un MSDS este concepută pentru a furniza personalului de laborator și de urgență procedurile corecte pentru manipularea sau lucrul cu o anumită substanță. MSDS-urile includ date fizice, efecte asupra sănătății, prim ajutor, reactivitate, stocare, eliminare, echipament de protecție și proceduri pentru scurgeri/leak-uri. Acestea sunt deosebit de utile în cazul în care apare o scurgere sau alte accidente.

1.1.1. Siguranța prelevării de probe

Protecția pentru ochi și mănușile ar trebui să fie folosite atunci când lucrați cu mașini și unelte. Mașinile de tăiat cu disc abraziv vor avea un ecran protector pentru operator împotriva lichidului de răcire, a pieselor provenite de la o roată de tăiere spartă, etc. Conform reglementărilor de siguranță, mașina poate fi pornită doar când carcasa protectorului este închisă. La tăierea cu discuri din bakelit sau cauciuc, se dezvoltă gaze, iar la mașinile mai mari, camera de tăiere ar trebui să fie conectată la un sistem de evacuare a gazelor.

1.1.2. Montarea în condiții de siguranță

În cazul montajului prin comprimare la cald, principala pericol constă în temperaturile ridicate utilizate în presele de montaj. Mănușile ar trebui folosite pentru manipularea suporturilor fierbinți, iar în momentul umplerii presei cu materiale precum pudra de bakelit, ar trebui evitată inhalarea prafului.

La montajul la rece, există mai multe pericole potențiale. Rășinile folosite la montajul la rece prezintă un potențial pericol pentru sănătate, astfel că toată manipularea ar trebui efectuată cu mănuși de cauciuc (latex) pentru a evita contactul cu pielea, iar amestecul și întărirea să aibă loc sub o carcasă de protecție împotriva fumului sau gazelor. În cazul folosirii unui cuptor pentru accelerarea întăririi peroxidului, ar trebui, de asemenea, utilizate mănuși. Informații privind fișele de date de securitate a materialelor (MSDS) ar trebui să fie disponibile pentru toate rășinile de montaj.

Câteva materiale folosite la montajul la rece:

Peroxid:

Acest material, atât rășina, cât și întăritorul, poate provoca daune pielii, cauzând reacții alergice. Materialul nu ar trebui să intre în contact cu pielea, iar vapori nu ar trebui inhalați. Toate operațiunile cu epoxid ar trebui să aibă loc sub o carcasă de protecție împotriva fumului, folosind echipament de protecție personală (PPE specificat în fișa de date de securitate a materialelor). Se recomandă eliminarea recipientelor și a tijelor de amestec după folosire. Epoxidul nu prezintă pericole după întărire completă, așadar nu este necesară protecție pentru manipularea eșantionului.

Acrilice și poliesteri:

Amestecul ar trebui întotdeauna să aibă loc sub o carcasă de protecție împotriva fumului, iar mănușile ar trebui folosite pentru manipularea acestor materiale, pentru a evita inhalarea și contactul cu pielea.

1.1.3. Siguranța în pregătirea mecanică

Operatorul ar trebui să utilizeze un halat de laborator, mănuși, ochelari de protecție și măști pentru a evita orice accident. În timpul pregătirii manuale, atunci când se folosește un disc de șlefuit/polizare, ar trebui luate precauții. Operatorul trebuie să utilizeze un specimen bine fixat, cu o dimensiune potrivită pentru pregătirea manuală. Mașinile de pregătire semi-automată sunt în principiu sigure de utilizat. Dacă un specimen este aruncat din suportul pentru specimen în timpul rotației, specimenul va fi reținut în interiorul mașinii, iar vitezele discurilor și suporturilor sunt relativ reduse. Pentru a evita contaminarea și impuritățile, în special atunci când se folosesc discuri de șlefuire și pastă abrazivă, care creează o pastă foarte fină, dificil de îndepărtat, ar trebui să se utilizeze mănuși de cauciuc sau plastic. Pentru mașinile mari care utilizează un lubrifiant inflamabil pe bază de alcool, vapori de alcool pot fi destul de puternici, și mașina ar trebui să fie conectată la un sistem de evacuare a gazelor. O soluție mai bună ar putea fi să se schimbe lubrifiantul cu unul pe bază de apă. Sistemele complet automate sunt complet închise și nu vor funcționa dacă carcasa de protecție nu sunt închise

1.1.4. Siguranța în electroliză și atac electrochimic

Cel mai serios pericol la electroliză și atac electrochimic este legat de amestecarea, manipularea, utilizarea și depozitarea electroliților. În timpul procesului de polizare, trebuie luate măsuri de precauție pentru a evita încălzirea electroliților, care poate provoca un incendiu sau chiar o explozie. Este important să se mențină un nivel corect de electroliți în recipient, deoarece un nivel mai scăzut de electroliți poate genera bule de aer în camera de polizare, cauzând o scânteie între anod și catod, ceea ce poate duce la aprinderea soluției în electroliți. Pentru astfel de operațiuni ar trebui să se utilizeze un halat de laborator, mănuși și ochelari de protecție pentru a preveni accidentările.

1.1.5. Siguranța în atacul chimic (materiale toxice și inflamabile)

Procedura de atac chimic ar trebui efectuată cu mănuși și protecție oculară sub o carcasă de protecție împotriva fumului. Cele mai serioase pericole potențiale sunt legate de amestecarea, manipularea și depozitarea substanțelor chimice utilizate pentru atac chimic, precum și pentru electroliți. Utilizatorul ar trebui să dispună de informații suficiente despre toate substanțele chimice utilizate, obținute din instruirii și fișele de date de securitate ale materialelor (MSDS), care ar trebui să fie întotdeauna disponibile în laborator. Soluțiile de atac chimic/electroliții sunt în mare parte amestecuri de diferite materiale realizate în laborator. În timpul amestecării, pot apărea reacții foarte periculoase cum ar fi: incendii, explozii și dizolvare, creând substanțe și/sau gaze periculoase. De regulă, amestecarea ar trebui să înceapă întotdeauna cu apă (alcool), după care celelalte ingrediente să fie adăugate. Cu toate acestea, adesea trebuie urmate proceduri speciale pentru a obține siguranța necesară, și anumite combinații de substanțe chimice sunt cunoscute ca fiind periculoase. Informații despre acestea trebuie să fie disponibile în laborator.

Cele mai comune materiale utilizate în laboratoarele de metalografie sunt:

Etanol: Etanolul utilizat într-un laborator prezintă următoarele identificări ale pericolelor: Solvenții organici pot fi absorbiți prin inhalare și ingestie și pot cauza daune permanente sistemului nervos. Lichidul poate irita pielea, ochii și tractul respirator.

Acid acetic: Se impune o atenție deosebită la amestecarea cu alte acizi precum acidul percloric și acidul azotic. Se evită amestecurile de acid acetic cu acid percloric.

Acid cromic: Substanță foarte puternică oxidantă, cu o reacție foarte puternică cu materialele organice sau ușor de oxidat și nu poate fi amestecată în condiții de siguranță cu acid acetic și majoritatea lichidelor organice, cum ar fi alcoolii sau glicerol. **OTRAVITOR!**

Acid azotic: Acid oxidant puternic, creând gaze cu multe materiale organice și metale. Nu se stochează soluții de acid azotic de peste 5% în etanol.

Acid percloric: Acid extrem de agresiv, care poate provoca explozii serioase la concentrații ridicate. Foarte periculos în contact cu metalele care se oxidează ușor, cum ar fi bismutul. De asemenea, trebuie evitat contactul cu materiale organice; dacă este absorbit într-un material organic, acesta trebuie plasat în apă. Materialele organice nu ar trebui niciodată folosite pentru a șterge acidul percloric.



Acid picric: Oxidant agresiv și ar trebui întotdeauna să fie stocat în condiții umede. În condiții uscate, riscul de explozie este ridicat. Depozitarea ar trebui să fie la o temperatură scăzută, iar condiții de siguranță împotriva incendiilor ar trebui să fie puse în aplicare..





Materialele toxice sunt substanțe care, atunci când sunt inhalate sau ingerate, pot duce la deces sau la probleme grave de sănătate. Mai multe substanțe toxice care sunt adesea utilizate într-un laborator de metalografie sunt:

- Substanțe chimice pe bază de metal: Be, Pb, Cr, Cu, Ag, Sn, Zn, Ni (nu ZnO₂): Veninoase sub formă lichidă sau vapori.
- Carbohidrați clorurați: Acești solvenți sunt foarte periculoși pentru inhalare.
- Cianuri: Acestea reacționează puternic cu acizii, chiar și conținutul de CO₂ din aerul atmosferic umed provoacă o reacție. Foarte otrăvitoare.
- Acid fluorhidric anhidru: În concentrații mai mari de 0,5%, acidul este foarte periculos, provocând leziuni grave ale țesuturilor. Atacă aproape toate metalele și sticla. Foarte periculos.
- Mercur: Substanțele chimice se leagă de mercur, iar vapori de mercur sunt otrăvitoare.
- Metanol: Otrăvitor.
- Acid oxalic (anhidru) (dehidrator): În concentrații mai mari de 5%, acidul oxalic este otrăvitor.
- Fosgen (clorura de carbonil): Foarte periculos pentru sistemul respirator.

Lichidele inflamabile sunt utilizate în pregătirea metalografică pentru polizarea electrolică, lubrifiere, atac chimic și curățare. Numărul de lichide inflamabile stocate în laborator ar trebui să fie minim și protejat cu atenție împotriva căldurii și a posibilelor surse de aprindere. Toate regulile și reglementările ar trebui să fie urmate cu atenție în manipularea lichidelor inflamabile. Încălzirea în containere deschise ar trebui făcută cu grijă, utilizând o carcasă de protecție și plăci de încălzire electrice speciale. Toate containerele cu materiale periculoase ar trebui marcate, iar exemplele de simboluri de pericol sunt prezentate în Tabelul 1.1.5.1.

Tabelul 1.1.5.1. Simboluri privind risc

Categoria de risc	Simbol pentru risc
Exploziv	
Oxidant	

Inflamabil		
Coroziv		
Iritant		
Toxic		

Eliminarea poate constitui o problemă și ar trebui să fie efectuată conform regulilor și reglementărilor stabilite de autoritățile locale.

Referințe:

[1.1.1] Bramfitt B. L., Benschoter A. O.: Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. 1st. Ed. ASM International, Materials Park, USA 2002. 169–244.

[1.1.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy 1st. ed. Plenum Press, New York, USA 1973. 1–348.

[1.1.3] Vander Voort G. F.: Metallography Principles and Practice. 4st. ed. ASM International, Materials Park, 2007. 1–258.

[1.1.4] Kay Geels: Metallographic and Matellographic Specimen Preparation, Light Microscopy, Image Analysis and Hardness Testing ASTM International, West Conshohocken, USA 2007. 1-761

1.2. Metode de pregătire a specimenelor pentru examinarea macro și microscopică

Etapile de pregătire a epruvetelor sunt prezentate în figura 1.2.1.

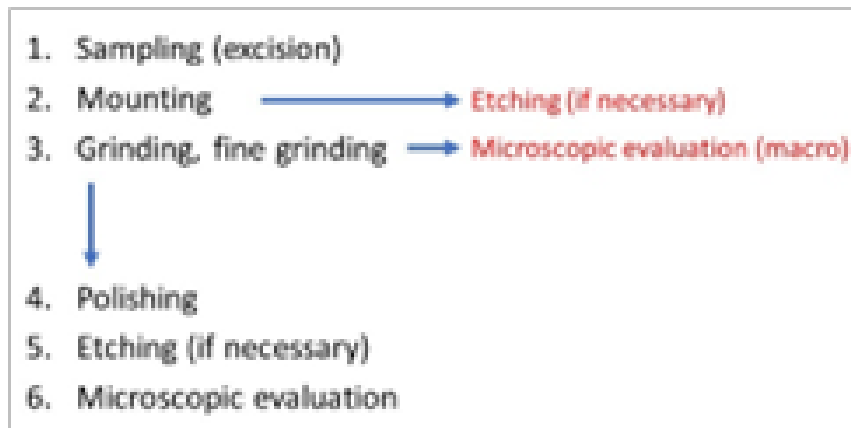


Figura 1.2.1. Fluxul de pregătire macroscopică și microscopică a epruvetelor

1.2.1. Eșantionarea

Când se examinează îmbinările sudate, este recomandabil să se urmeze recomandările standardelor respective. În timpul procesului de tăiere, este important să se asigure că structura materialului din eșantion nu este modificată. Prin urmare, tăierea nu ar trebui să provoace încălzirea probei sau deformarea plastică a acesteia, deoarece ambele pot duce la schimbări în structura materialului și la interpretări false. Procesarea poate fi realizată prin tăiere mecanică sau prelucrare mecanică. De obicei, specialiștii metalografi folosesc un disc de tăiat abraziv cu diamant, cu viteză reglabilă și răcire cu apă, precum și o fierăstrău mecanic/electric cu un sistem de răcire pentru a realiza tăierea probei. Pentru table subțiri și foi, tăierea cu foarfeca este, de asemenea, o opțiune. Cu toate acestea, în cazuri specifice, laboratoarele utilizează tehnici de tăiere specializate; de exemplu, pentru materiale cu niveluri ridicate de duritate, cele mai comune procese sunt eroziunea electrică sau tăierea cu jet de apă. Suprafața tăiată va suferi inevitabil de deformări, așa că este necesar să se prelucreză ulterior suprafața prin șlefuire.

1.2.2. Montarea

Montarea se referă la încapsularea probei prelucrate sau a unui specimen de dimensiuni mici într-un material polimeric sau alți compuși. În funcție de tipul de rășină utilizat și natura probei, pot fi aplicate metode de montare la rece sau la cald. Obiectivul principal aici este să se asigure că nici structura, nici compoziția chimică a probei nu sunt modificate în timpul procesului de montare [1, 2, 3]. În montarea

la rece, se utilizează în mod obișnuit o rășină bi-componentă. În timpul întăririi rășinii, apare o reacție exotermă, care nu provoacă modificări structurale la metale și aliajele lor. Pentru a preveni defectiunile, este necesar să se respecte specificațiile recomandate furnizate de producător. Montarea la cald se referă la un proces de înglobare a unei probe metalice într-o rășină termopolimerizabilă cu ajutorul căldurii și presiunii. Acesta oferă un mediu stabil și uniform pentru examinarea structurii interne și proprietăților metalelor și aliajelor. Se impune prudență în cazul probelor mici și casante sau a celor cu un punct de topire scăzut.

1.2.3. Marcarea

Marcarea specimenelor metalografice este esențială pentru identificarea corespunzătoare a probei, asigurându-se că specialistul metalograf folosește eșantionul corect pentru analiză. Marcarea nu ar trebui în niciun fel să influențeze microstructura suprafeței care urmează să fie examinată; prin urmare, trebuie acordată atenție înainte de a efectua marcarea. De asemenea, trebuie luat în considerare că marcarea este scrisă într-o zonă unde nu va fi îndepărtată sau deteriorată în timpul procesului de pregătire.

Marcarea cu cerneală rezistentă la apă:

Se recomandă să fie efectuată pe rășină sau cât mai departe posibil de zona de analiză. Se impune prudență pentru a evita îndepărtarea sau ștergerea parțială. Ca alternativă, se pot utiliza cerneală sau creion de marcare.

Etichetă de identificare:

De obicei, eticheta este plasată pe partea din spate a probei și în cazul probelor înglobate, acestea ar trebui inserate într-o rășină transparentă, precum și în exteriorul probei/suportului. Trebuie avută grijă pentru a preveni îndepărtarea acestora în timpul curățării cu apă și alcool.

Gravură:

Una dintre cele mai utilizate metode de marcarea este gravura prin vibrații. Induce o deformare vizibilă a suprafeței suportului/specimenului. Această metodă va stresa stratul material sub suprafață și nu ar trebui utilizată pentru probe subțiri precum foițele. Gravura electrochimică produce mai puține daune suprafeței, dar poate fi folosită doar pe materiale conductive electric. Gravura pe o suprafață curată și netedă se realizează prin topirea/evaporarea metalului, cauzată de o scânteie de înaltă temperatură. Gravura manuală, folosind un daltă, este de asemenea posibilă pentru majoritatea materialelor care nu au valori ridicate de duritate.

Ștanțare:

Ștanțarea unui număr sau cod în specimen este posibilă, dar nu neapărat recomandată, deoarece poate fi ușor îndepărtată în timpul manipulării sau procesării.

1.2.4. Curățarea

Este important ca mediul în care are loc procesul să fie lipsit de impurități și mâinile operatorului să fie curate.

Având în vedere că procesul de pregătire include adesea diferite granulații de hârtie abrazivă (granulație 80 până la 5000), pânză de lustruit și suspensie de diamant (1 până la 3 μm), care sunt schimbate progresiv, este evident că poate apărea contaminare încrucișată, motiv pentru care se recomandă utilizarea fiecărei hârtii abrazive o singură dată, deoarece granulele mai mari de la un pas anterior pot produce contaminare încrucișată.

Curățarea înainte de începerea pregătirii:

Necurățarea temeinică poate împiedica rășinile de montare la rece și la cald să adere la suprafața probei. De asemenea, oxidarea și alte contaminări ar trebui îndepărtate, cu excepția cazului în care aceste produse urmează să fie examinate. De exemplu, metodele de curățare mai grosiere, precum sablarea sau periatul cu sârmă, pot dăuna suprafeței, prin urmare, ar trebui să se ia în considerare dacă acestea ar putea influența rezultatul final al pregătirii.

Curățarea în timpul și după pregătire:

În principiu, specimenul și suportul de specimen (specimene fixate) ar trebui curățate între fiecare pas în procesul de rectificare și lustruire, dar în timpul rectificării umede pe hârtie SiC, cu un flux constant de apă, curățarea atentă poate fi limitată la după ultimul pas de rectificare. În cazul rectificării pe alte medii, precum discuri compozite rigide, și la lustruire, curățarea între fiecare pas este absolut necesară. Există, totuși, anumite materiale sau anumite componente în materiale care vor fi atacate preferențial de apă (acoperiri de zinc pe oțel, incluziuni de plumb în oțeluri prelucrate, etc.), prin urmare, apa trebuie evitată complet în ultimele etape de pregătire.

Curățare manual:

Pentru curățarea celor mai multe metale și alte materiale fără pori, crăpături, etc., curățarea manuală este metoda cea mai eficientă. Specimenul sau suportul de specimen este ținut sub apă caldă și clătit cu o perie moale sau o minge de bumbac înmuiată în apă cu detergent. În cazul materialelor moi și după ultimul pas de lustruire, se folosește o minge de bumbac pentru a curăța suprafața pregătită. Curățarea se finalizează prin pulverizarea de alcool etilic dintr-o sticlă pulverizatoare pe suprafața pregătită și posibil ștergerea suprafeței înainte de a fi luată pentru uscare. Alcoolul conținând un aditiv de denaturare poate fi utilizat, atât timp cât aditivul nu lasă un film pe specimen. În cazul specimenelor cu pori, crăpături, etc., și al suporturilor cu un decalaj între materialul de montare și specimen, se recomandă curățarea cu ultrasunete, cu excepția materialelor fragile.

În cazul probelor de testare din polimeri, curățarea este sugerată să se facă cu apă distilată, deoarece alcoolul poate dizolva unele materiale polimerice.

Curățare cu ultrasunete:

Curățarea cu ultrasunete este eficientă și relativ rapidă, eliminând murdăria din pori, crăpături, etc. Specimenul sau suportul de specimen este plasat într-un rezervor

1.2.5. Pregătirea mecanică a suprafețelor, rectificare

Suprafața probei este rectificată folosind discuri abrazive progresiv mai fine. Materialul abraziv utilizat poate fi pe bază de carburi de siliciu sau discuri abrazive cu diamant. Materialele abrazive sunt disponibile comercial în diferite granulații, variind de la P60 la P4000. Materialele abrazive cu granulații

de la P2000 la P4000 sunt considerate și agenți de lustruire. Fie că este vorba de rectificare manuală sau automatizată, în timpul fiecărui pas de rectificare, proba este rotită cu 90 de grade pentru a elimina zgârieturile de rectificare anterioare. Astfel, rectificarea elimină zgârieturile anterioare de rectificare cu zgârieturi perpendiculare și mai fine (vezi Figura 1.2.2). Rectificarea se realizează cu furnizarea continuă de apă, unde apa ajută la îndepărtarea particulelor libere, a reziduurilor și a căldurii generate de frecare.

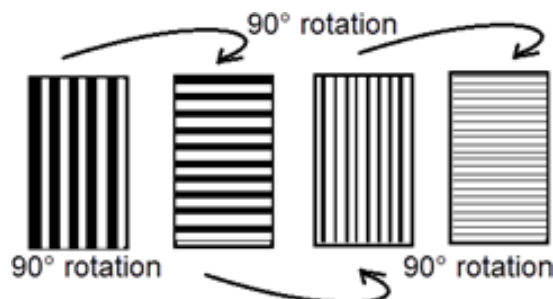


Figura 1.2.5.1. Pregătirea suprafeței prin rectificare

1.2.6. Pregătirea mecanică a suprafeței, lustruire

Următorul pas constă în lustruirea suprafeței pregătite până la nivelul dorit de netezime. Lustruirea poate fi realizată prin metode mecanice, chimice sau electrolitice. Lustruirea mecanică se efectuează cu ajutorul unui disc de lustruit sau a unei pânze de lustruit. Materialul pânzei de lustruit poate fi natural sau sintetic. Pentru lustruire, o pastă de lustruit sau o suspensie de apă distilată conținând oxid de aluminiu, oxid de magneziu sau particule de diamant cu dimensiuni cuprinse între 0,05 și 15 μm , ar trebui să fie compatibilă cu materialul și duritatea pânzei de lustruit. În timpul lustruirii manuale, proba ar trebui să fie mișcată într-un mișcare circulară opusă direcției de rotație a discului de lustruit. După lustruire, suprafața este spălată cu apă distilată, urmată de alcool. Aplicabilitatea alcoolului ar trebui verificată pentru probele ne-metalice. Suprafața este apoi uscată cu aer cald suflat. Odată ce suprafața este lustruită, pot fi efectuate examinări macroscopice. La o magnificație de 50 de ori, devin vizibile anumite fisuri, defecte de sudură și fuziune insuficientă.

1.2.7. Lustruirea electrolitică

Pregătirea electrolitică este o metodă rapidă și eficientă pentru pregătirea metalografică, oferind o suprafață fără deformări, în timp ce rectificarea și lustruirea mecanică tind să lase un strat subțire de deformare la suprafață. Cu ajutorul echipamentului de lustruire electrolitică, epruveta este configurată ca anod într-un electrolit adecvat, iar materialul este îndepărtat prin dizolvarea controlată a suprafeței epruvetei. Lustruirea electrolitică poate fi urmată de un proces de gravură electrolitică pentru a scoate în evidență contraste în microstructura specimenului.

1.2.8. Gravură

Examinările mai detaliate sunt efectuate prin gravarea suprafeței, conform recomandărilor ISO 16060. Agentul de decapare trebuie selectat în funcție de calitatea materialului examinat. Agentul de decapare atacă selectiv suprafața probei, în grade diferite, la granițele și suprafețele granulelor, făcându-le vizibile la microscop. Microstructurile modificate rezultate în urma tratamentului termic pot fi, de asemenea, examinate în mod eficient, în special în cazul oțelurilor pentru scule. Tehnicile de gravură colorată oferă mai multe informații și îmbunătățesc recunoașterea. Agentul de decapare formează o peliculă colorată stabilă pe suprafața probei, care poate fi un oxid, o sulfură, un cromat sau un compus complex. Respectarea strictă a ordinii de amestecare și a proporțiilor este esențială în timpul preparării decapantului. Pentru materialele rezistente chimic, se poate folosi gravarea electrolitică. În cazul gravării convenționale, suprafața probei este scufundată în decapant și mișcată ușor. Timpul de

decapare depinde, de asemenea, de rezoluția microscopului, fiind necesare durate mai lungi pentru microscopul cu rezoluție mai mică și durate mai scurte pentru microscopul cu rezoluție mai mare. După decapare, proba se clătește bine cu apă, urmată de clătirea cu alcool și apoi se usucă cu aer cald suflat. În tabelul 1.2.8.1 sunt prezentate câteva materiale comune de gravură.

Tabelul 1.2.8.1. Cei mai utilizați agenți de gravură

Name	Etchant	Application area
Nital	97 ml ethyl alcohol; 3 ml 69% nitric acid	Unalloyed and low-alloy steel
Pikral	100 ml ethyl alcohol; 4 g picric acid	Unalloyed and low-alloy steel
Hydrochloric acid-iron chloride	960 ml ethyl alcohol; 20 ml 35% hydrochloric acid; 50 g iron(III) chloride	Copper and its alloys
Keller	950 ml distilled water; 25 ml 69% nitric acid, 15 ml 35% hydrochloric acid; 10 ml 40% hydrofluoric acid	Titanium and its alloys, aluminium and its alloys
Kroll	10 ml 40% hydrofluoric acid; 30 ml 69% nitric acid; 960 ml distilled water	Aluminum and its alloys
Oxalic acid solution	100 ml water (H ₂ O) and 10 g oxalic acid (C ₂ H ₂ O ₄)	Stainless steel

Referințe :

[1.2.1] Bramfitt B. L., Benschoter A. O.: Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels. 1st. Ed. ASM International, Materials Park, 2002. 169–244.

[1.2.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy 1st. ed. Plenum Press, New York, 1973. 1–348.

[1.2. 3] Vander Voort G. F.: Metallography Principles and Practice. 4st. ed. ASM International, Materials Park, 2007. 1–258.

[1.2. 4] EN ISO 17639:2022 Destructive tests on welds in metallic materials — Macroscopic and microscopic examination of welds 2022.

[1.2. 5] ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.

[1.2. 6] ISO/TR 16060:2003 Destructive tests on welds in metallic materials — Etchants for macroscopic and microscopic examination, 2003

1.3. Examinarea macroscopică și aplicarea ei în tehnologia sudări

INTRODUCERE

În acest capitol, vom explora semnificația examinării macroscopice în domeniul tehnologiei de sudare. Sudarea este un proces de îmbinare utilizat pe scară largă în diverse industrii, iar calitatea și integritatea îmbinărilor sudate joacă un rol crucial în performanța și fiabilitatea structurilor și componentelor. Examinarea macroscopică oferă informații valoroase despre

structura generală, defectele și calitatea sudurilor, permițând inginerilor și tehnicienilor să evalueze integritatea sudurilor și să ia decizii în cunoștință de cauză cu privire la adecvarea acestora pentru aplicații specifice.

1.3.1. Prezentare generală a examinării macroscopice

În acest subcapitol, vom oferi o prezentare aprofundată a examinării macroscopice și a importanței acesteia în tehnologia sudării. Vom discuta scopul și obiectivele examinării macroscopice, avantajele sale față de alte metode de testare și modul în care aceasta completează alte tehnici de inspecție, cum ar fi testarea nedistructivă și examinarea microscopică.

Examinarea macroscopică, cunoscută și sub numele de inspecție vizuală, este o tehnică fundamentală utilizată în tehnologia sudării pentru a evalua calitatea, integritatea și execuția sudurilor și a îmbinărilor sudate. Aceasta implică observarea și evaluarea directă a suprafeței sudate și a zonelor adiacente, folosind ochiul liber sau instrumente de mărire.

DEFINIȚIA ȘI SCOPUL EXAMINĂRII MACROSCOPICE

Scopul examinării macroscopice este acela de a identifica și analiza caracteristicile generale, defectele și calitatea de execuție a sudurilor. Scopul este de a se asigura că sudurile respectă standardele, specificațiile și criteriile de performanță necesare. Această metodă de examinare joacă un rol critic în controlul calității sudurilor, permițând detectarea și evaluarea atât a problemelor vizibile, cât și a celor ascunse, care pot afecta integritatea structurală, funcționalitatea și fiabilitatea componentelor sudate. Examinarea macroscopică are o importanță semnificativă în tehnologia sudării din mai multe motive:

Asigurarea calității: Examinarea macroscopică permite evaluarea calității sudurii și a conformității cu standardele și specificațiile industriale. Aceasta ajută la identificarea defectelor, a discontinuităților și a abaterilor de la criteriile acceptabile, asigurându-se că sudurile sunt solide din punct de vedere structural și îndeplinesc cerințele de performanță dorite.

Detectarea timpurie a defectelor: Inspecția vizuală permite detectarea timpurie a defectelor în suduri, cum ar fi fisurile, porozitatea, lipsa de fuziune, penetrarea incompletă, subcotarea și consolidarea excesivă. Detectarea acestor probleme într-un stadiu incipient permite luarea unor măsuri corective rapide, reducând riscul de deteriorare sau defecțiune ulterioară.

Raportul cost-eficacitate: Examinarea macroscopică este o metodă relativ simplă și eficientă din punct de vedere al costurilor în comparație cu alte tehnici de testare avansate. Aceasta oferă informații valoroase despre starea generală a sudurilor, contribuind la procesul de luare a deciziilor privind inspecțiile ulterioare sau reparațiile necesare.

Completarea testării nedistructive (NDT): Examinarea macroscopică completează alte tehnici de inspecție, inclusiv metodele de testare nedistructivă, cum ar fi testarea cu ultrasunete, radiografia și inspecția cu particule magnetice. Ajută la identificarea potențialelor zone problematice pentru o evaluare mai detaliată cu ajutorul metodelor NDT, optimizând astfel procesul de inspecție.

Documentație vizuală: Examinarea macroscopică permite documentarea vizuală a sudurilor și a caracteristicilor acestora. Fotografiiile, înregistrările video sau schițele realizate în timpul examinării servesc drept înregistrări esențiale pentru referință, analiză și comunicare între inspectorii de sudură, ingineri și părțile interesate.

Examinarea macroscopică oferă mai multe avantaje în evaluarea sudurilor:

Observare în timp real: Inspekția vizuală oferă o evaluare în timp real, permițând identificarea imediată a defectelor și anomaliilor vizibile.

Rentabilitate: Examinarea macroscopică este o metodă relativ ieftină și accesibilă, care necesită un echipament și o pregătire minimă..

Aplicabilitate largă: Poate fi aplicat la diferite tipuri de sudură, dimensiuni și materiale, ceea ce îl face versatil în diferite aplicații de sudură..

Nedistructiv: Examinarea macroscopică nu provoacă nicio deteriorare a epruvetelor sau a structurilor testate.

Cu toate acestea, este esențial să recunoaștem limitările examinării macroscopice.:

Sensibilitatea suprafeței: Se concentrează în primul rând asupra caracteristicilor de suprafață ale sudurilor, limitând detectarea defectelor subfață sau interne.

Subiectivitate: Interpretarea rezultatelor inspekției vizuale poate fi subiectivă, în funcție de experiența, abilitățile și acuitatea vizuală a inspectorului.

Examinarea macroscopică joacă un rol crucial în controlul calității sudurilor, furnizând informații valoroase despre integritatea generală și calitatea de execuție a sudurilor. Aceasta ajută la asigurarea faptului că sudurile îndeplinesc cerințele specificate, inclusiv geometria, toleranțele dimensionale, aspectul și absența defectelor vizibile. Prin combinarea examinării macroscopice cu alte tehnici de inspekție, cum ar fi testarea nedistructivă și examinarea microscopică, se poate realiza o evaluare cuprinzătoare a calității sudurilor. Această abordare integrată îmbunătățește fiabilitatea, performanța și siguranța structurilor, componentelor și sistemelor sudate.

În Uniunea Europeană (UE), examinarea macroscopică în tehnologia de sudare este ghidată de diverse standarde și orientări care oferă cerințe și recomandări pentru procesul de inspekție. Unele dintre principalele standarde UE legate de examinarea macroscopică în sudură includ:

EN ISO 5817 - Sudură - Îmbinări sudate prin fuziune din oțel, nichel, titan și aliajele lor (niveluri de calitate pentru imperfecțiuni): Prezentul standard prevede criteriile pentru evaluarea imperfecțiunilor macroscopice din îmbinările sudate prin topire. Acesta definește diferite niveluri de calitate și criterii de acceptare în funcție de tipul și mărimea imperfecțiunilor observate în timpul examinării macroscopice.

EN ISO 17637 - Încercări nedistructive ale sudurilor - Încercare vizuală a îmbinărilor sudate prin topire: Acest standard specifică cerințele pentru testarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire. Acesta prezintă principiile generale, echipamentele, procedurile și criteriile de

acceptare pentru examinarea macroscopică pentru a asigura inspecția corespunzătoare a suprafețelor sudate și identificarea defectelor vizibile.

EN 970 - Examinarea nedistructivă a îmbinărilor sudate prin fuziune: Prezentul standard oferă orientări pentru examinarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire. Acesta cuprinde principiile generale, echipamentele, tehnicile și criteriile de acceptare pentru examinarea macroscopică în vederea evaluării stării suprafeței, a profilurilor de sudură și a prezenței defectelor vizibile.

EN 1290 - Încercări distructive la sudurile din materiale metalice - Examinarea macroscopică a sudurilor: Acest standard specifică cerințele pentru examinarea macroscopică a îmbinărilor sudate prin metode de testare distructivă. Acesta detaliază procedurile de tăiere, pregătire și examinare a secțiunilor macroscopice de suduri pentru a evalua calitatea acestora și pentru a identifica orice defecte sau discontinuități.

Aceste standarde, printre altele, oferă îndrumări privind tehnicile de examinare macroscopică, criteriile de acceptare și cerințele de documentare în tehnologia de sudare în cadrul Uniunii Europene. Respectarea acestor standarde asigură o evaluare coerentă și fiabilă a sudurilor, promovează controlul calității și sprijină utilizarea sigură și eficientă a structurilor și componentelor sudate.

IMPORTANȚA EXAMINĂRII MACROSCOPICE ÎN TEHNOLOGIA SUDĂRII

Examinarea macroscopică joacă un rol crucial în tehnologia de sudare, oferind o perspectivă valoroasă asupra calității, integrității și fiabilității îmbinărilor sudate. Această metodă de inspecție implică inspecția vizuală și evaluarea suprafețelor și macrostructurilor sudate pentru a detecta și evalua diverse caracteristici, defecte și discontinuități. Importanța examinării macroscopice în tehnologia de sudare poate fi înțeleasă prin prisma următoarelor aspecte:

Controlul și asigurarea calității: Examinarea macroscopică servește ca instrument fundamental pentru controlul și asigurarea calității în sudură. Aceasta permite identificarea și evaluarea imperfecțiunilor vizibile, cum ar fi fisurile, lipsa de fuziune, porozitatea și subcotarea, care pot compromite integritatea structurală și performanța îmbinărilor sudate. Prin detectarea și remedierea acestor defecte din timp, examinarea macroscopică contribuie la asigurarea faptului că sudurile respectă standardele de calitate și cerințele de reglementare specificate.

Evaluarea integrității sudurii: Examinarea macroscopică oferă informații valoroase despre integritatea generală a îmbinărilor sudate. Aceasta permite inspecția profilului de sudură, inclusiv a formei, a dimensiunii și a armăturii, care sunt esențiale pentru obținerea rezistenței și a capacității de încărcare a îmbinării dorite. Prin evaluarea macrostructurii, inclusiv a structurii granulare, a segregării și a caracteristicilor zonei afectate de căldură (HAZ), examinarea macroscopică ajută la evaluarea proprietăților mecanice, cum ar fi duritatea, tenacitatea și susceptibilitatea la fisurare, și asigură faptul că sudurile sunt adecvate pentru aplicațiile prevăzute.

Detectarea și localizarea defectelor: Examinarea macroscopică permite identificarea și localizarea defectelor în îmbinările sudate. Inspecția vizuală a suprafeței de sudură și a macrostructurii secțiunii transversale ajută la identificarea defectelor comune, cum ar fi discontinuitățile de sudură, porozitatea, lipsa de fuziune, penetrarea incompletă și subcotarea. Prin caracterizarea precisă a acestor defecte, examinarea macroscopică ajută la determinarea severității, amplitudinii și impactului potențial asupra performanței și duratei de viață a structurilor sudate.

Repararea și evaluarea sudurii: Examinarea macroscopică oferă informații esențiale pentru evaluarea necesității de reparare a sudurii și pentru evaluarea eficienței procedurilor de reparare. Prin identificarea defectelor și a cauzelor lor profunde, examinarea macroscopică ajută la planificarea și executarea strategiilor de reparare adecvate pentru a remedia problemele observate. De asemenea, permite examinarea post-reparare pentru a se asigura că sudura reparată îndeplinește standardele de calitate necesare și își păstrează integritatea structurală.

Tehnică complementară: Examinarea macroscopică completează alte tehnici de inspecție utilizate în tehnologia de sudare, cum ar fi metodele de testare nedistructivă (NDT) și examinarea microscopică. În timp ce metodele NDT, cum ar fi radiografia, testarea cu ultrasunete și inspecția cu particule magnetice, oferă informații valoroase despre defectele și discontinuitățile interne, examinarea macroscopică se concentrează pe caracteristicile de suprafață și pe defectele vizibile. În plus, examinarea microscopică, inclusiv analiza metalografică și microscopia, oferă informații detaliate despre caracteristicile microstructurale. Prin combinarea examinării macroscopice cu alte tehnici de inspecție, se poate realiza o evaluare cuprinzătoare a îmbinărilor sudate, îmbunătățind evaluarea generală a calității și integrității sudurii.

Examinarea macroscopică este de o importanță capitală în tehnologia sudării. Aceasta permite controlul calității, evaluarea integrității, detectarea defectelor și evaluarea reparațiilor. Prin utilizarea acestei metode de inspecție, sudorii, inspectorii de sudură și inginerii pot asigura producerea de suduri de înaltă calitate care să respecte standardele și specificațiile necesare. În plus, examinarea macroscopică joacă un rol crucial în creșterea siguranței, fiabilității și performanței structurilor și componentelor sudate în diverse industrii, inclusiv în sectoarele construcțiilor, producției, transporturilor și energiei.

AVANTAJELE ȘI LIMITELE EXAMINĂRII MACROSCOPICE

Avantajele examinării macroscopice:

Inspecție vizuală: Examinarea macroscopică permite inspecția vizuală directă a suprafețelor și macrostructurilor sudate. Acest lucru permite inspectorilor să identifice cu ochiul liber neregularitățile de suprafață, abaterile profilului de sudură și defectele vizibile. Inspecția vizuală oferă un feedback în timp real, permițând o evaluare și o luare de decizii imediate.

Eficiență din punct de vedere al costurilor: Examinarea macroscopică este o metodă de inspecție relativ eficientă din punct de vedere al costurilor în comparație cu tehnicile de testare nedistructivă atât de sofisticate. Necesită un echipament minim și poate fi efectuată

de personal calificat, folosind instrumente de bază, cum ar fi lentile de mărire, oglinzi de inspecție și iluminare adecvată.

Accesibilitate: Examinarea macroscopică este accesibilă și poate fi aplicată în diverse medii, inclusiv în inspecții pe teren și evaluări la fața locului. Nu necesită configurații complexe sau pregătiri ample, ceea ce o face potrivită pentru inspecțiile la fața locului.

Complementar cu alte tehnici: Examinarea macroscopică completează alte tehnici de inspecție, cum ar fi metodele de testare nedistructivă (NDT) și examinarea microscopică. Aceasta oferă o evaluare la nivelul suprafeței care completează capacitățile de detectare a defectelor interne ale metodelor NDT. Combinarea examinării macroscopice cu alte tehnici îmbunătățește inspecția și evaluarea generală a îmbinărilor sudate.

Rezultate rapide și imediate: Cu ajutorul examinării macroscopice, inspectorii pot obține rezultate instantanee în timpul procesului de inspecție. Defectele și neregulile sunt vizibile imediat, permițând luarea rapidă a deciziilor privind acceptarea sau respingerea sudurilor. Acest feedback imediat permite acțiuni corective în timp util și reduce potențialele întârzieri în procesul de sudare.

Limitări ale examinării macroscopice:

Inspecție numai pe suprafață: Examinarea macroscopică se limitează la caracteristicile de suprafață și la defectele vizibile ale îmbinărilor sudate. Este posibil să nu ofere informații despre defectele interne sau caracteristicile microstructurale care pot afecta performanța pe termen lung a sudurii. Pentru a depăși această limitare, sunt necesare tehnici complementare, cum ar fi testarea nedistructivă și examinarea microscopică.

Subiectivitate: Inspecția vizuală se bazează pe experiența, expertiza și abilitățile de interpretare ale inspectorului. Evaluarea sudurilor poate fi influențată de judecata individuală, ceea ce poate introduce un anumit nivel de subiectivitate în procesul de evaluare. Pentru a reduce la minimum subiectivitatea, ar trebui să se urmeze proceduri și criterii standardizate de inspecție.

Sensibilitate de detecție limitată: Examinarea macroscopică poate avea o sensibilitate limitată în ceea ce privește detectarea anumitor tipuri de defecte, în special a celor de mici dimensiuni, de subsuprafață sau care nu sunt vizibile vizual. Unele defecte, cum ar fi microfisurile sau porozitatea localizată, pot să nu fie ușor de detectat doar prin examinare macroscopică.

Starea suprafeței Influență: Precizia și eficacitatea examinării macroscopice pot fi afectate de starea suprafeței sudate. Contaminanții de suprafață, straturile sau rugozitatea suprafeței pot întuneca vizibilitatea defectelor și pot necesita pregătirea sau curățarea suprafeței înainte de inspecție.

Imposibilitatea de a determina integritatea internă: Examinarea macroscopică nu poate evalua integritatea internă a îmbinărilor sudate. Aceasta nu oferă informații despre soliditatea sudurilor în interiorul materialului, inclusiv despre prezența fisurilor interne, lipsa de fuziune sau penetrarea incompletă. Pentru a evalua integritatea internă, sunt necesare

tehnici complementare, cum ar fi radiografia, testarea cu ultrasunete sau alte metode de testare nedistructive.

ROLUL EXAMINĂRII MACROSCOPICE ÎN CONTROLUL CALITĂȚII SUDURII

Rolul examinării macroscopice în controlul calității sudurii:

Detectarea defectelor: Examinarea macroscopică permite detectarea defectelor vizibile în îmbinările sudate. Aceasta le permite inspectorilor să identifice discontinuități, cum ar fi fisuri, porozitate, lipsă de fuziune, penetrare incompletă și subcotare, printre altele. Prin examinarea macrostructurii sudurii, inspectorii pot determina prezența și gravitatea defectelor care pot compromite proprietățile mecanice și performanța îmbinării.

Evaluarea profilului de sudură: Examinarea macroscopică ajută la evaluarea geometriei și a profilului sudurii. Aceasta permite inspectorilor să evalueze factori precum forma, dimensiunea și consistența cordonului de sudură, precum și alinierea și penetrarea îmbinării. Abaterile de la profilul de sudură specificat pot indica probleme legate de tehnica sudurii, parametrii de sudură sau de potrivirea îmbinării, care pot avea un impact asupra calității și rezistenței generale a sudurii.

Acceptarea sau respingerea sudurilor: Pe baza rezultatelor examinării macroscopice, inspectorii pot lua decizii în cunoștință de cauză cu privire la acceptarea sau respingerea îmbinărilor sudate. Criteriile de acceptare, așa cum sunt definite de standardele și specificațiile din industrie, oferă orientări pentru a determina dacă o sudură îndeplinește standardele de calitate și performanță necesare. Examinarea macroscopică ajută la evaluarea sudurilor în raport cu aceste criterii și oferă dovezi obiective pentru acceptare sau respingere.

Evaluarea reparațiilor de sudură: În cazurile în care se identifică defecte, examinarea macroscopică ajută la evaluarea eficienței și integrității reparațiilor sudurii. Aceasta le permite inspectorilor să evalueze calitatea sudurilor reparate, asigurându-se că acestea remediază defectele inițiale și respectă standardele impuse. Efectuând o examinare macroscopică după reparații, inspectorii pot verifica dacă îmbinările reparate sunt sănătoase și apte de funcționare.

Documentare și păstrare a înregistrărilor: Examinarea macroscopică contribuie la procesul de documentare și de înregistrare în cadrul controlului calității sudurii. Inspectorii își înregistrează observațiile, constatările și evaluările din timpul examinării, oferind o înregistrare permanentă a inspecției sudurii. Această documentație servește ca dovadă a conformității cu procedurile de control al calității și facilitează trasabilitatea și responsabilitatea în procesul de sudare.

Asigurarea calității și conformitate: Examinarea macroscopică este o parte integrantă a programelor de asigurare a calității în sudură. Aceasta asigură faptul că îmbinările sudate îndeplinesc cerințele de calitate specificate, standardele industriale și specificațiile clientului. Prin efectuarea examinării macroscopice, producătorii pot demonstra conformitatea cu cerințele de reglementare și pot spori încrederea clienților în integritatea și fiabilitatea produselor lor sudate.

Îmbunătățirea proceselor: Examinarea macroscopică joacă, de asemenea, un rol în îmbunătățirea proceselor și în sporirea continuă a calității. Analizând rezultatele examinării macroscopice, producătorii pot identifica defectele recurente, pot evalua cauzele profunde și pot pune în aplicare acțiuni corective. Această buclă de feedback ajută la optimizarea procedurilor de sudare, la îmbunătățirea manoperei și la reducerea la minimum a apariției defectelor în sudurile viitoare.

1.3.2. Caracteristici macroscopice ale îmbinărilor

Acest subcapitol se va concentra pe diferitele caracteristici macroscopice care pot fi observate în îmbinările sudate. Vom examina profilele comune de sudură, cum ar fi sudurile filetate, sudurile cap la cap și sudurile cu caneluri și vom discuta caracteristicile specifice și variațiile asociate fiecărui tip de îmbinare. Prin tehnici de inspecție vizuală și măsurare, putem evalua geometria, dimensiunile și aspectul general al sudurilor, oferind informații despre parametrii procesului de sudare și configurația îmbinărilor.

Examinarea metalografică a îmbinărilor sudate include analiza macroscopică și analiza microscopică. Metalografia a fost descrisă atât ca o știință, cât și ca o artă. În mod tradițional, metalografia a fost studiul structurii microscopice a metalelor și aliajelor folosind metalografe optice, microscopie electronice sau alte echipamente de analiză a suprafeței. Mai recent, pe măsură ce materialele au evoluat, metalografia s-a extins pentru a încorpora materiale variind de la electronice la compozite sportive bune. Prin analiza microstructurii unui material, performanța și fiabilitatea acestuia pot fi mai bine înțelese. Aceasta, metalografia este utilizată în dezvoltarea materialelor, inspecția primitivă, controlul producției și fabricării și pentru analiza defectiunilor; cu alte cuvinte, fiabilitatea produsului.

Examinarea metalografică este parte integrantă a cercetării calității îmbinărilor sudate, care implică, printre altele:

- identificarea defectelor macro-microscopice;
- examinarea structurii metalografice în toate domeniile caracteristice îmbinărilor sudate;
- determinarea durității în metalul de bază, ZIT și sudură;
- determinarea proporției constituenților structurali și determinarea dimensiunii medii a granulelor;
- clasificarea după mărime a granulelor structurii;
- determinarea altor cantități stereometrice ale structurii (gradul de dispersie a fazei, gradul de deformare, gradul de orientare etc.).

În funcție de dimensiunea constituenților structurali, examinarea se efectuează prin microscopie optică sau electronică la mărimi de până la 160.000: 1.

Analiza metalografică este utilizată pentru:

- verificarea materialelor de bază;
- asimilarea de noi materiale de sudură;
- verificarea tehnologiilor de sudură aplicate la fabricarea unor produse;
- verificarea oportunității aplicării tratamentului termic post-sudare;
- analiza cauzelor unor accidente și altele.

Din examinările metalografice, se așteaptă informații privind:

- existența constituenților fragili în ZIT și sudare;

- indicarea defectelor de sudură atât în natură, cât și în dimensiunea și numărul geometric;
- găsirea vârfulilor de duritate ale zonelor caracteristice;
- caracterizarea structurală completă a metalului de bază, ZIT și a sudurii;
- natura și distribuția fazei secundare.

Examinarea macroscopică este o metodă de inspecție vizuală utilizată pentru a examina suprafața unei suduri sau a unui obiect metalic pentru a identifica orice defecte sau nereguli vizibile. Aceasta implică utilizarea ochiului liber sau a unei lentile de mărire pentru a observa sudura sau suprafața metalică și pentru a identifica orice discontinuități ale suprafeței, cum ar fi fisurile, porozitatea, lipsa fuziunii, subcotarea și contaminarea suprafeței.

În tehnologia de sudare, examinarea macroscopică este un instrument esențial de control al calității care ajută la asigurarea faptului că procesele și procedurile de sudare sunt efectuate corect și că produsul final sudat îndeplinește standardele de calitate cerute. Se utilizează pentru a examina suprafața unei suduri după ce a fost finalizată pentru a verifica orice defecte vizibile. Este deosebit de util în tehnologia de sudare, deoarece permite detectarea defectelor de suprafață care pot să nu fie vizibile cu ochiul liber. Acest lucru ajută la identificarea timpurie a potențialelor probleme, permițând luarea de măsuri corective înainte de finalizarea produsului final. În plus, examinarea macroscopică poate ajuta la identificarea cauzei oricăror defecte, permițând dezvoltarea unor proceduri de sudură mai eficiente. De asemenea, poate fi utilizat pentru a evalua calitatea metalului de bază înainte de sudare. Prin examinarea suprafeței metalului de bază, pot fi identificate orice nereguli sau defecte ale suprafeței care pot afecta calitatea sudurii. Acest lucru poate ajuta la prevenirea apariției defectelor de sudură și la asigurarea faptului că produsul final îndeplinește standardele de calitate cerute.

În plus, examinarea macroscopică poate fi utilizată pentru a evalua eficacitatea unei proceduri sau tehnici de sudare. Prin examinarea suprafeței îmbinării sudate, se poate evalua calitatea și consistența sudurii și pot fi identificate orice zone de slăbiciune sau defecte. Acest lucru poate ajuta la îmbunătățirea procesului de sudare și la dezvoltarea unor proceduri de sudare mai eficiente. În plus, poate fi utilizat pentru analiza criminalistică în caz de eșec sau accidente de sudare. Prin examinarea suprafeței sudurii sau a obiectului metalic, poate fi identificată cauza defectiunii sau a accidentului, ceea ce poate ajuta la prevenirea apariției unor incidente similare în viitor.

În general, examinarea macroscopică este un instrument important în tehnologia de sudare care ajută la asigurarea calității și siguranței produselor sudate. Acesta permite detectarea și corectarea defectelor din timp, asigurându-se că produsul final îndeplinește standardele de calitate cerute și este sigur pentru utilizare. Permite detectarea și corectarea defectelor din timp, îmbunătățește procesele și procedurile de sudare și ajută la prevenirea defectiunilor și accidentelor de sudare.

INTRODUCERE ÎN CARACTERISTICILE MACROSCOPICE

Caracteristicile macroscopice sunt caracteristicile observabile ale îmbinărilor sudate care pot fi examinate vizual fără ajutorul măririi. Aceste caracteristici oferă informații valoroase despre structura, calitatea și performanța sudurii. Prin examinarea cu atenție a caracteristicilor macroscopice, inspectorii și inginerii pot evalua integritatea îmbinării și pot identifica eventualele probleme sau abateri de la specificațiile dorite. Caracteristicile macroscopice ale



Îmbinărilor sudate cuprind diverse aspecte, inclusiv morfologia mărgelilor de sudură, zona de fuziune, zona afectată de căldură (HAZ) și materialul de bază. Să explorăm aceste caracteristici în detaliu:

Morfologia mărgelilor de sudură: Morfologia mărgelilor de sudură se referă la aspectul fizic și forma metalului de sudură depus. Acesta poate varia în funcție de procesul de sudare, materialul de umplere și configurația îmbinării. Morfologiile obișnuite ale mărgelilor de sudură includ profile convexe, concave, plate sau neregulate. Geometria și uniformitatea talonului de sudură oferă informații despre tehnica de sudare, aportul de căldură și gradul de penetrare obținut în timpul procesului de sudare.

Zona de fuziune: Zona de fuziune este regiunea în care metalul de bază și metalul de sudură au suferit topire și amestecare completă. Reprezintă zona în care a avut loc fuziunea metalului de bază și a materialului de umplere. Zona de fuziune trebuie să prezinte o fuziune și o penetrare corespunzătoare, asigurând o articulație solidă și puternică. Examinarea zonei de fuziune ajută la determinarea gradului de fuziune, a absenței defectelor și a calității generale a sudurii.

Zona afectată de căldură (HAZ): HAZ este porțiunea metalului de bază adiacentă zonei de fuziune care a fost supusă căldurii în timpul sudării. Aportul de căldură poate provoca modificări metalurgice, cum ar fi creșterea cerealelor, transformări de fază și modificări ale proprietăților mecanice. Dimensiunea și caracteristicile HAZ sunt influențate de factori precum parametrii de sudare, compoziția materialului și rata de răcire. Examinarea HAZ permite evaluarea potențialelor modificări microstructurale și prezența problemelor legate de căldură, cum ar fi creșterea excesivă a granulelor sau variațiile de duritate.

Material de bază: Materialul de bază sau materialul părinte se referă la metalul îmbinat prin sudare. Examinarea microscopică a materialului de bază oferă o referință pentru evaluarea integrității sudurii. Aceasta implică evaluarea compoziției materialului de bază, a structurii granulelor, a stării suprafeței și a oricăror caracteristici sau defecte preexistente care pot afecta calitatea sudurii. Compararea caracteristicilor macroscopice ale materialului de bază cu cele ale sudurii poate ajuta la identificarea discontinuităților, abaterilor sau nepotrivirilor.

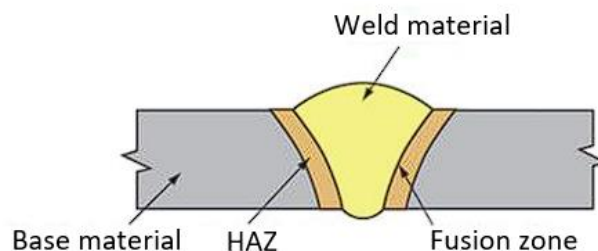


Fig. 1.3.1: Componente ale îmbinărilor sudate. Sursă: <https://www.kobelco-welding.jp/education-center/medium/medium02.html>

Examinarea microscopică permite o analiză cuprinzătoare a acestor caracteristici prin inspectarea vizuală a îmbinării sudurii și a zonelor înconjurătoare. Oferă o înțelegere la nivel macro a calității sudurii, cum ar fi gradul de fuziune, armarea adecvată, absența fisurilor și conformitatea generală cu specificațiile dorite. Interpretarea caracteristicilor macroscopice

necesită un ochi instruit și o înțelegere a procesului de sudare, a materialelor și a standardelor aplicabile. În plus, este important să se ia în considerare cerințele specifice ale componentei sau structurii sudate, deoarece diferite aplicații pot avea criterii unice pentru evaluarea caracteristicilor macroscopice. Aceste informații servesc drept bază pentru evaluarea conformității sudurii cu specificațiile, identificarea oricăror probleme sau abateri potențiale și luarea deciziilor în cunoștință de cauză cu privire la acceptabilitatea îmbinării.

PROFILE DE SUDURĂ ȘI CONFIGURAȚII DE ÎMBINĂRI

În tehnologia de sudare, profilul de sudură și configurația îmbinării joacă un rol semnificativ în determinarea rezistenței, integrității și performanței îmbinării sudate. Profilul de sudură se referă la forma și dimensiunile secțiunii transversale sudate, în timp ce configurația îmbinării descrie aranjamentul și geometria îmbinării care trebuie sudată. Înțelegerea acestor aspecte este esențială pentru evaluarea calității sudurii și asigurarea adecvării acesteia pentru aplicația dorită.

Profile de asamblare și îmbinare a sudurii:

Sudură filetată: O sudură filetată este un tip comun de profil de sudură utilizat pentru îmbinarea a două suprafețe care sunt aproximativ perpendiculare una pe cealaltă. Formează o secțiune transversală în formă triunghiulară și este adesea folosită pentru articulații de poală, articulații T și articulații de colț. Dimensiunea sudurii fileului este specificată de lungimea piciorului și grosimea gâtului.

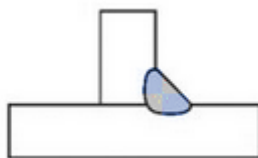


Fig. 1.3.2: Sudură filetată

Sudură cu canelură: O sudură cu canelură este utilizată pentru a îmbina două plăci sau secțiuni cu o canelură sau un spațiu între ele. Canelura poate fi preparată în diferite forme, cum ar fi pătrată, în formă de V, în formă de U, în formă de J sau teșită, pentru a se potrivi procesului de sudare și pentru a asigura o penetrare și o fuziune suficiente. Sudurile cu caneluri sunt utilizate în mod obișnuit în aplicații structurale și necesită pregătire și control precis pentru a asigura o calitate adecvată a sudurii.

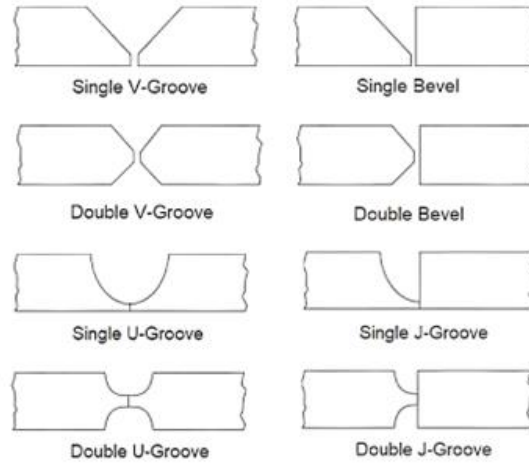


Fig. 1.3.3: Tipuri de sudură cu caneluri

Sudarea cap la cap: Sudarea cap la cap implică unirea a două margini adiacente ale materialului de bază, creând o fuziune fie în penetrare completă, în cazul în care întreaga grosime a îmbinării se contopește, fie în penetrare parțială, în cazul în care numai o parte fuzionează. Profilele de sudură cap la cap pot varia de la pătrate, în formă de V, în formă de U, până la teșite, în funcție de configurația îmbinărilor. În schimb, o îmbinare cap la cap îmbină două materiale cap la cap, fără suprapunere, cu opțiuni pentru configurații pătrate sau teșite. Alegerea metodei de sudare este dictată de grosimea și cerințele îmbinării, iar obținerea unei îmbinări cap la cap puternice se bazează pe potrivirea meticuloasă, alinierea și parametrii precizi de sudare.

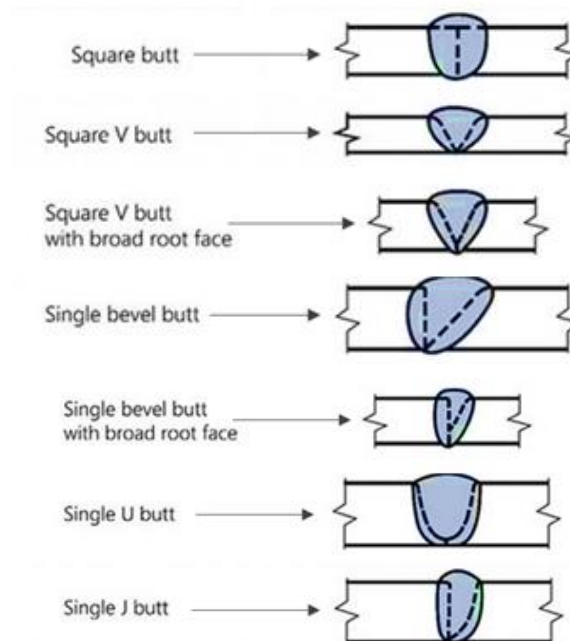


Fig. 1.3.4: Tipuri de sudură cap la cap



Fig. 1.3.5: Articulație cap la cap

Îmbinare de tip Lap Joint: Într-o Îmbinare de tip Lap Joint, două bucăți de material suprapuse sunt unite prin sudare de-a lungul regiunii de suprapunere. Este utilizat în mod obișnuit pentru îmbinarea plăcilor subțiri sau a componentelor din tablă. Rezistența unei îmbinări depinde de dimensiunea suprapunerii, de lungimea sudurii și de procesul de sudare utilizat.

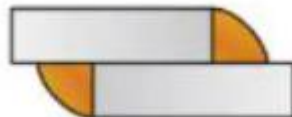


Fig. 1.3.6: Îmbinare de tip Lap Joint

T-Joint: O Îmbinare în T se formează atunci când capătul unei piese este sudat la suprafața altei piese, creând o configurație în formă de T. Îmbinările T sunt utilizate pe scară largă în aplicații structurale și necesită o analiză atentă a parametrilor de sudură și a armăturii pentru a asigura o rezistență adecvată și transferul de sarcină.



Fig. 1.3.7: Imbinare T

Îmbinare de colț: O Îmbinare de colț este creată atunci când două bucăți de material se întâlnesc la un unghi de 90 de grade și sunt sudate împreună. Este utilizat în mod obișnuit în structuri de cutie, cadre și sisteme de conducte. Pregătirea corectă a sudurii, penetrarea și armarea sunt esențiale în îmbinările de colț pentru a asigura integritatea structurală și rezistența la concentrațiile de stres.



Fig. 1.3.8: Îmbinare de colț

Evaluarea profilelor de sudură și a configurațiilor îmbinărilor este vitală în tehnologia de sudare, deoarece acestea au un impact direct asupra rezistenței, capacității portante și funcționalității

îmbinării sudate. Examinarea acestor caracteristici implică inspectarea vizuală a secțiunii transversale a sudurii, măsurarea dimensiunilor, evaluarea armăturii și verificarea conformității cu cerințele specificate. Este important să respectați standardele, codurile și specificațiile aplicabile atunci când evaluați profilele de sudură și configurațiile îmbinărilor. Aceste standarde oferă linii directe pentru profilele de sudură acceptabile, dimensiunile, armarea și criteriile de calitate bazate pe aplicația specifică și materialul sudat. Prin examinarea cu atenție a profilelor de sudură și a configurațiilor îmbinărilor, sudurii, inspectorii și inginerii se pot asigura că sudura îndeplinește cerințele necesare de rezistență și integritate, minimizând riscul de defectare și asigurând longevitatea și performanța structurii sau componenteii sudate.

DIMENSIUNEA, FORMA ȘI PENETRAREA SUDURII

Dimensiunea, forma și penetrarea sudurii sunt parametri cruciali în sudură care afectează în mod direct rezistența, integritatea și performanța îmbinării sudate. Evaluarea și înțelegerea acestor aspecte este esențială pentru evaluarea calității sudurii și asigurarea adecvării acesteia pentru aplicația dorită.

Dimensiunea sudurii: Dimensiunea sudurii se referă la dimensiunile secțiunii transversale a sudurii, inclusiv lungimea, lățimea și adâncimea acesteia. Dimensiunea sudurii este de obicei specificată în ceea ce privește lungimea piciorului, grosimea gâtului sau lățimea sudurii. Dimensiunea corectă a sudurii este importantă pentru atingerea rezistenței necesare și a capacității de încărcare a îmbinării. Acesta este determinat de factori precum proiectarea îmbinării, grosimea materialului, procesul de sudare și parametrii de sudare.

Forma sudurii: Forma secțiunii transversale a sudurii poate varia în funcție de configurația îmbinării, procesul de sudare și tehnica de sudare utilizată. Formele obișnuite de sudură includ profile convexe, concave și plate. Forma dorită este determinată de procedura de sudare și de cerințele aplicației. Forma sudurii poate influența factori precum concentrația de stres, rezistența la oboseală și capacitatea de a rezista sarcinilor aplicate.

Penetrarea sudurii: Penetrarea sudurii se referă la adâncimea la care metalul sudurii se extinde în materialul de bază. Este o măsură a fuziunii și lipirii dintre sudură și metalul de bază. Penetrarea corectă a sudurii este esențială pentru realizarea unei îmbinări puternice și fiabile. Penetrarea insuficientă poate duce la fuziune incompletă, lipsa rezistenței articulației și capacitate redusă de încărcare. Penetrarea excesivă, pe de altă parte, poate duce la un aport excesiv de căldură, distorsiuni și defecte potențiale.

Evaluarea dimensiunii, formei și penetrării sudurii implică tehnici vizuale de inspecție, măsurare și evaluare. Inspecția vizuală permite observarea directă a secțiunii transversale a sudurii și identificarea oricăror abateri de la cerințele specificate. Instrumentele de măsurare,

cum ar fi manometrele de sudură, etrierile și tehnicile de microscop, pot fi utilizate pentru a determina cu exactitate dimensiunile și pentru a evalua calitatea sudurii.

Este important să consultați standardele, codurile și specificațiile relevante atunci când evaluați dimensiunea, forma și penetrarea sudurii; Acestea oferă îndrumări și criterii de acceptare pentru dimensiunile dorite ale sudurii și adâncimea de penetrare pe baza aplicației specifice, a tipului de material și a procesului de sudare utilizat. Respectarea acestor standarde asigură faptul că sudura îndeplinește cerințele necesare de rezistență și integritate. Comunicarea și documentarea corespunzătoare a dimensiunii, formei și rezultatelor de penetrare a sudurii sunt esențiale pentru controlul calității și trasabilitate. Aceste înregistrări servesc drept referință pentru inspecțiile, reparațiile și activitățile de întreținere viitoare. Prin examinarea și evaluarea îndeaproape a dimensiunii, formei și penetrării sudurii, sudurii, inspectorii și inginerii se pot asigura că îmbinarea sudurii îndeplinește cerințele necesare de rezistență și integritate.

PROFILE DE ARMARE ȘI SUDURĂ FILETATĂ

Profilele de armare și sudură filetată sunt aspecte importante ale examinării macroscopice în tehnologia de sudare. Acestea oferă informații valoroase despre calitatea, rezistența și integritatea structurală a îmbinării sudate. Înțelegerea și evaluarea acestor caracteristici este crucială pentru asigurarea fiabilității și performanței sudurii.

Armare

Armarea, cunoscută și sub denumirea de armătură de sudură sau coroană de sudură, se referă la excesul de metal de sudură care se extinde dincolo de suprafața originală a materialului de bază. Acesta este de obicei observat pe partea superioară a unei îmbinări de sudură, frecvent observate în sudurile filetate și sudurile cap la cap. Armarea joacă un rol semnificativ în îmbunătățirea rezistenței și a capacității de încărcare a îmbinării prin furnizarea de material suplimentar pentru distribuția tensiunii. Cu toate acestea, armarea excesivă poate duce la probleme cum ar fi concentrarea stresului, reducerea duratei de viață a oboselii și interferența potențială cu componentele sau structurile adiacente.

Evaluarea corectă a armăturii sudurii implică măsurarea înălțimii sau adâncimii acesteia, care se poate face folosind inspecția vizuală, manometrele de sudură sau profilometrele. Nivelurile acceptabile de armare sunt de obicei specificate în standardele, codurile sau specificațiile relevante ale proiectului, luând în considerare factori precum procesul de sudare, proiectarea îmbinării și grosimea materialului. Evaluarea armăturii asigură respectarea acestor cerințe și asigură integritatea structurală a îmbinării sudate.

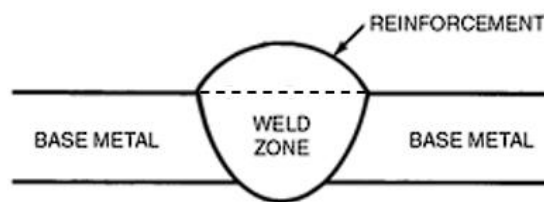


Fig. 1.3.9: Armarea în sudură

Profile de sudură filetate

Sudurile filetate sunt utilizate în mod obișnuit în diverse aplicații de sudare, în special pentru îmbinarea componentelor cu îmbinări în poală, îmbinări în T sau îmbinări de colț. Profilul de sudură filetat se referă la forma și dimensiunile secțiunii transversale a sudurii în aceste îmbinări. Acesta joacă un rol vital în determinarea rezistenței, capacității de încărcare și rezistenței la oboseală a articulației.

Profilul de sudură filetat este caracterizat în mod obișnuit prin lungimea piciorului, grosimea gâtului și raza degetului de la picioare. Lungimea piciorului se referă la distanța de la rădăcina îmbinării până la intersecția sudurii fileului cu materialul de bază. Grosimea gâtului reprezintă cea mai scurtă distanță dintre rădăcină și fața sudurii. Raza degetului se referă la netezimea și rotunjimea tranziției dintre sudură și materialul de bază.

Evaluarea corectă a profilelor de sudură filetată implică o inspecție vizuală și o măsurare precisă folosind instrumente precum manometre de sudură filetată sau manometre de profil. Valorile măsurate sunt apoi comparate cu cerințele specificate prezentate în standardele, codurile sau specificațiile proiectului aplicabile. Abaterile de la profilele de sudură cu filet necesare pot indica probleme precum dimensiunea insuficientă a sudurii, fuziunea inadecvată sau tehnicile de sudare necorespunzătoare. Abordarea acestor abateri este necesară pentru a asigura rezistența și integritatea dorită a articulației. Evaluarea profilelor de armare și sudură filetată este esențială pentru evaluarea calității și integrității structurale a îmbinărilor sudate. Prin inspecție vizuală și măsurători precise, sudurii, inspectorii și inginerii pot verifica conformitatea sudurilor cu standardele și specificațiile relevante. Prin asigurarea armăturii adecvate și a profilelor de sudură filetate, rezistența, fiabilitatea și performanța îmbinării sudate pot fi menținute, minimizând riscul de defectare și promovând calitatea generală a sudurii.

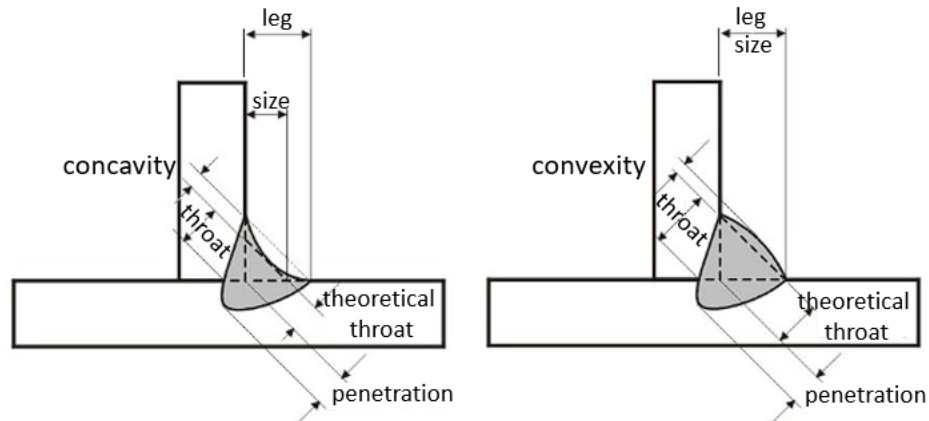


Fig. 1.3.10: Elemente geometrice ale profilelor de sudură filetate [1.3.25]

PROFILE DE SUDURĂ CU CANELURI ȘI UNGHIURI DE ȘANFRENARE

Profilele de sudură cu caneluri și unghiurile de șanfrenare sunt aspecte importante ale examinării macroscopice în tehnologia de sudare. Acestea oferă informații valoroase despre geometria, rezistența și integritatea îmbinărilor de sudură cu caneluri. Înțelegerea și evaluarea acestor caracteristici este crucială pentru asigurarea calității și performanței sudurii.

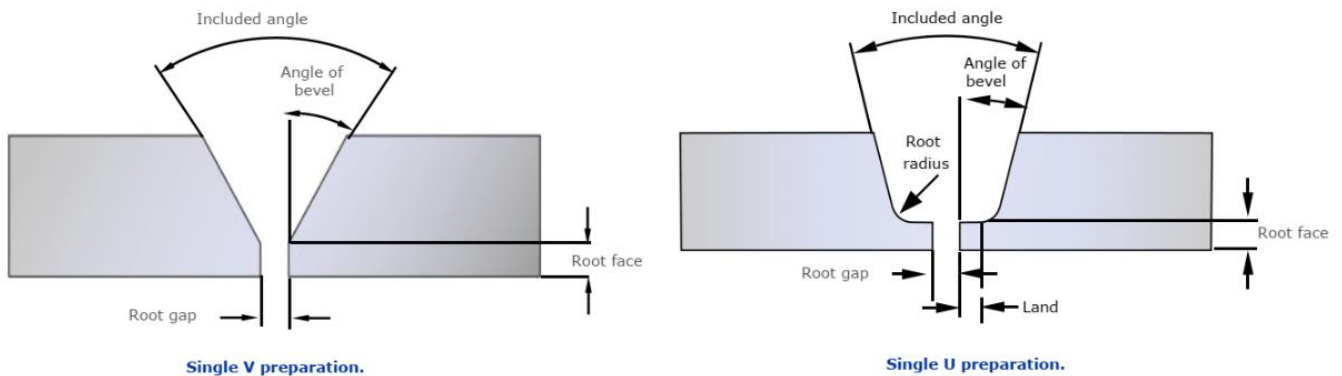


Fig. 1.3.11: Reprezentarea unghiului de șanfrenare pentru profilele de sudură cu caneluri în V și U [1.3.26]

Profile de sudură prin canelură

Sudurile cu caneluri sunt utilizate în mod obișnuit în diferite aplicații de sudură în care două sau mai multe componente sunt îmbinate prin umplerea unei caneluri între ele. Profilul sudurii cu canelură se referă la forma și dimensiunile secțiunii transversale a sudurii în îmbinarea canelurii. Acesta joacă un rol vital în determinarea rezistenței, capacității de încărcare și rezistenței la oboseală a articulației.

Profilul sudurii cu caneluri este caracterizat de obicei prin adâncimea, lățimea și unghiul pereților laterali. Adâncimea reprezintă distanța de la rădăcina sudurii la suprafața materialului

de bază. Lățimea se referă la distanța dintre pereții laterali ai canelurii. Unghiul pereților laterali, cunoscut și sub numele de unghi inclus, este unghiul format între pereții laterali ai canelurii.

Evaluarea corectă a profilelor de sudură cu caneluri implică inspecția vizuală și măsurarea precisă folosind instrumente precum manometre de adâncime, calibre de lățime sau indicatoare de profil. Valorile măsurate sunt apoi comparate cu cerințele specificate prezentate în standardele, codurile sau specificațiile proiectului aplicabile. Abaterile de la profilele de sudură cu caneluri necesare pot indica probleme cum ar fi penetrarea necorespunzătoare a sudurii, fuziunea inadecvată sau pregătirea incorectă a canelurilor. Abordarea acestor abateri este necesară pentru a asigura rezistența și integritatea dorită a articulației.

Unghiuri de șanfrenare

Unghiurile de șanfrenare sunt un aspect esențial al sudurilor cu caneluri, în special în îmbinările cu o configurație cu canelură în V sau canelură în U. Unghiul de șanfrenare se referă la unghiul format între suprafețele pregătite ale materialului de bază înainte de sudare. Acesta determină forma și dimensiunea canelurii și influențează factori precum penetrarea sudurii, volumul sudurii și ușurința sudării.

Evaluarea corectă a unghiurilor de șanfrenare implică o inspecție vizuală și o măsurare precisă folosind instrumente precum proiectoarele sau indicatoarele unghiulare. Valorile măsurate sunt apoi comparate cu cerințele specificate prezentate în standardele, codurile sau specificațiile proiectului aplicabile. Abaterile de la unghiurile de șanfrenare necesare pot indica probleme cum ar fi pregătirea necorespunzătoare a canelurilor, parametrii incorecți de sudură sau montarea necorespunzătoare a îmbinării. Rectificarea acestor abateri este necesară pentru a asigura penetrarea adecvată a sudurii, fuziunea și rezistența îmbinării.

Evaluarea profilelor de sudură cu caneluri și a unghiurilor de șanfrenare este crucială pentru evaluarea calității și integrității îmbinărilor de sudură cu caneluri. Prin inspectarea vizuală și măsurarea cu precizie a acestor caracteristici, sudorii, inspectorii și inginerii pot verifica conformitatea sudurilor cu standardele și specificațiile relevante. Prin asigurarea profilelor adecvate de sudură cu caneluri și a unghiurilor de șanfrenare, rezistența, fiabilitatea și performanța îmbinării sudate pot fi menținute, minimizând riscul de rupere și promovând calitatea generală a sudurii.

1.3.3. Defecte ale îmbinărilor sudate

Îmbinările sudate sunt susceptibile la diferite tipuri de defecte care pot compromite integritatea și performanța lor structurală. În acest subcapitol, vom explora diferitele tipuri de defecte care pot fi identificate prin examinarea macroscopică. Vom discuta despre defecte, cum ar fi porozitatea, lipsa fuziunii, subcotarea, armarea excesivă, fisurile și neregularitățile suprafeței. Înțelegerea cauzelor, caracteristicilor și implicațiilor acestor defecte este esențială pentru evaluarea calității sudurii și asigurarea fiabilității pe termen lung a structurilor sudate.

DEFECTE COMUNE DE SUDURĂ ȘI CAUZELE ACESTORA

Înțelegerea defectelor comune de sudură și a cauzelor acestora este esențială pentru prevenirea apariției acestora și asigurarea sudurilor de înaltă calitate. În acest text tehnic, vom explora unele dintre cele mai frecvente defecte de sudură și factorii care contribuie la formarea lor.

Porozitate:

Porozitatea este un defect de sudură predominant caracterizat prin prezența unor mici buzunare de gaz sau goluri în metalul de sudură. Poate slăbi sudura și o poate face susceptibilă la fisuri. Principalele cauze ale porozității includ:

Contaminanți de pe suprafața metalului de bază sau a materialului de umplere, cum ar fi uleiul, umiditatea sau rugina.

Acoperirea necorespunzătoare a gazului de protecție sau a fluxului de gaz în timpul sudării, ceea ce duce la o protecție inadecvată împotriva gazelor atmosferice.

Parametri de sudare excesivi, cum ar fi curentul ridicat sau viteza de deplasare, care pot duce la captarea gazelor.



Fig. 1.3.12.1: Porozitatea prezentată prin desen 2-dimensional

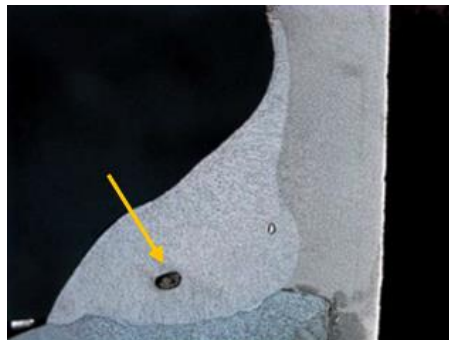


Fig. 1.3.12.2: Un exemplu macrografic de porozitate [1.3.25]

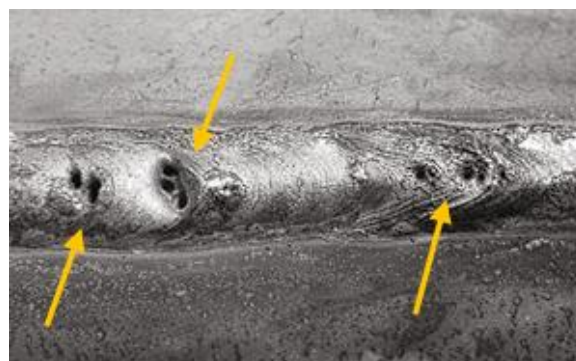


Fig. 1.3.12.3: Un exemplu de porozitate [1.3.27]

Lipsa fuziunii:



Lipsa fuziunii apare atunci când există o legătură incompletă între metalul de bază și materialul de umplere sau între straturile adiacente ale sudurii. Aceasta poate duce la îmbinări slabe și la o capacitate redusă de încărcare. Unele cauze comune ale lipsei de fuziune includ:

Consum insuficient de căldură, care împiedică topirea și lipirea corespunzătoare a metalului de bază și a materialului de umplere.

Penetrare inadecvată, în cazul în care sudura nu atinge adâncimea completă a îmbinării, ducând la fuziune incompletă.

Montare slabă a îmbinărilor, cu goluri sau nealiniere care împiedică fuziunea adecvată între suprafețele metalice.



Fig. 1.3.13.1: Lipsa fuziunii prezentată prin desen 2-dimensional

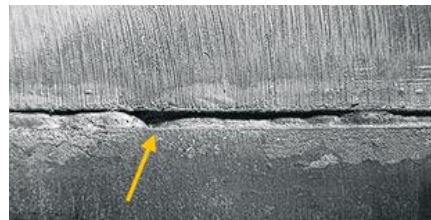


Fig. 1.3.13.2: Un exemplu de lipsă de fuziune [1.3.28]

Fisuri:

Crăpăturile din îmbinările sudate sunt defecte care pot apărea sub diferite forme, cum ar fi fisuri fierbinți, fisuri reci sau fisuri de stres. Crăpăturile pot compromite în mod semnificativ integritatea structurală a sudurii și se pot propaga în sarcini aplicate sau în condiții de service. Cauzele fisurilor includ:

Niveluri ridicate de stres rezidual, care pot fi cauzate de tehnici de sudare necorespunzătoare, preîncălzire inadecvată sau răcire rapidă.

Proiectarea inadecvată a articulațiilor, ceea ce duce la concentrații de stres și zone localizate de stres ridicat.

Consumabile de sudură incompatibile sau proprietăți nepotrivite ale metalelor de bază, ducând la incompatibilitate metalurgică și sensibilitate crescută la fisuri.



Fig. 1.3.14.1: Fisură prezentată prin desen 2-dimensional

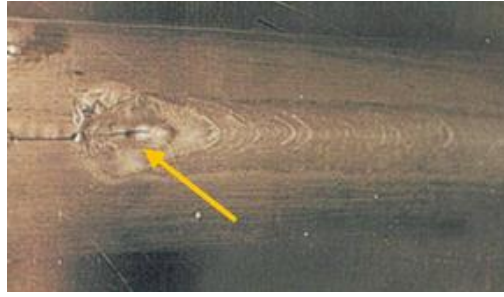


Fig. 1.3.14.2: Un exemplu de fisură [1.3.25]

Subcotări:

Subcotările sunt o depresiune asemănătoare canelurii de-a lungul degetului sudurii sau a pereților laterali ai sudurii. Slăbește articulația și poate acționa ca un punct de concentrare a stresului. Subcotările pot fi cauzate de:

- Consum excesiv de căldură sau curenți mari de sudură, ceea ce duce la topirea excesivă și îndepărtarea materialului la marginile sudurii.
- Tehnica de sudare incorectă, cum ar fi manipularea necorespunzătoare a arcului de sudură sau țesutul excesiv.



Fig. 1.3.15.1: Subcotări prezentate prin desen 2-dimensional

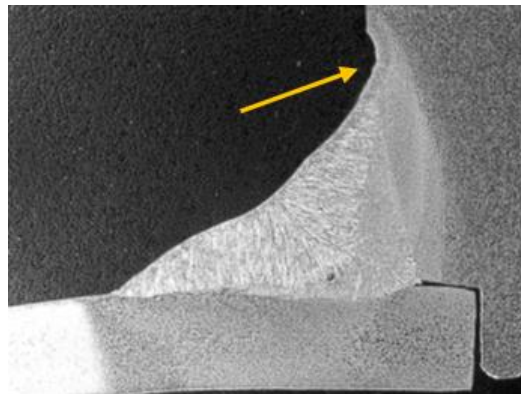


Fig. 1.3.15.2: Un exemplu macrografic de subcotare [1.3.25]

Stropi:

Spatterul se referă la ejectarea picăturilor mici de metal topit în timpul sudării, care se pot depune pe suprafețele din apropiere. În timp ce stropii nu afectează în mod direct integritatea sudurii, pot crea probleme cosmetice și pot indica condiții necorespunzătoare de sudare sau contaminare cu electrozi.





Fig. 1.3.16.1: Stropire prezentată prin desen 2-dimensional

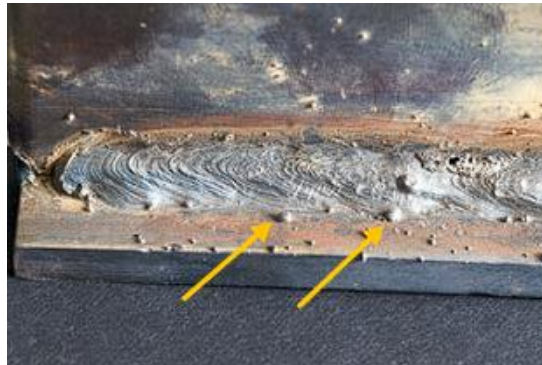


Fig. 1.3.16.2: Un exemplu de stropire [1.3.25]

Penetrare incompletă:

Penetrarea incompletă are loc atunci când sudura nu penetrează complet grosimea îmbinării. Poate slăbi articulația și compromite capacitatea sa portantă. Cauzele penetrării incomplete includ:

- Intrare insuficientă de căldură sau parametri de sudură care nu furnizează energie adecvată pentru topirea și fuzionarea întregii grosimi a îmbinării.
- Pregătirea necorespunzătoare a îmbinării, cum ar fi un spațiu de îmbinare prea îngust sau suprafețe de îmbinare care nu sunt curățate și pregătite corespunzător.
- Tehnică de sudare necorespunzătoare, cum ar fi unghiul incorect al electrodului sau manipularea necorespunzătoare a arcului de sudură.



Fig. 1.3.17.1: Incomplete penetration shown through 2-dimensional drawing

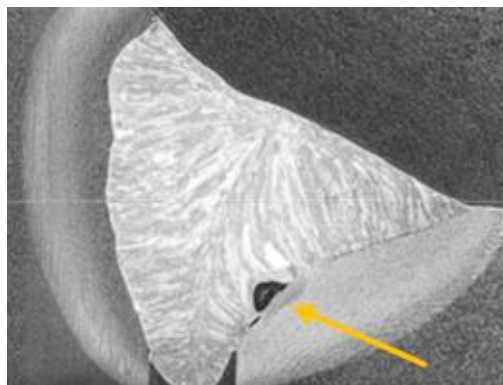


Fig. 1.3.17.2: A macrographic example of incomplete penetration [1.3.25]

Penetrare excesivă:

Penetrarea excesivă se referă la metalul de sudură care pătrunde prea adânc în metalul de bază, ducând la fuziune excesivă. Aceasta poate duce la distorsiuni, pierderea rezistenței îmbinărilor și defecte potențiale pe partea din spate a sudurii. Penetrarea excesivă este adesea cauzată de:

- Consum excesiv de căldură sau curenți mari de sudură, care provoacă topirea excesivă și penetrarea în metalul de bază.
- Proiectarea sau montarea necorespunzătoare a îmbinărilor, cum ar fi îmbinările cu spațiu insuficient al rădăcinii sau unghi de șanfrenare incorect.



Fig. 1.3.18.1: Penetrare excesivă arătată prin desen 2-dimensional

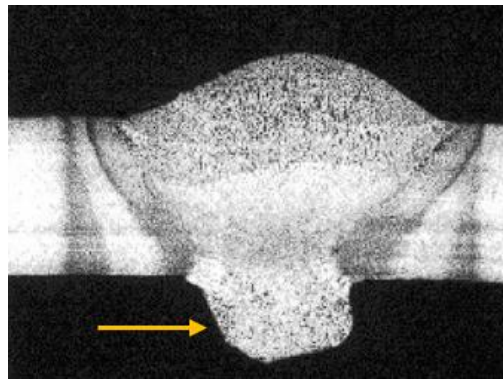


Fig. 1.3.18.2: Un exemplu macrografic de penetrare excesivă [1.3.29]

Incluziuni:

Incluziunile sunt materiale străine, cum ar fi zgura sau particulele nemetalice, care sunt prinse în metalul sudurii. Ele pot slăbi sudura și pot acționa ca puncte de concentrare a stresului. Incluziunile pot fi cauzate de:

- Contaminarea consumabilelor de sudură, cum ar fi materialul de umplere sau fluxul, cu murdărie, rugină sau umiditate.
- Tehnica de sudare necorespunzătoare, cum ar fi manipularea sau mișcarea excesivă a electrodului, provocând includerea zgurii.



Fig. 1.3.19.1: Incluziuni prezentate prin desen 2-dimensional

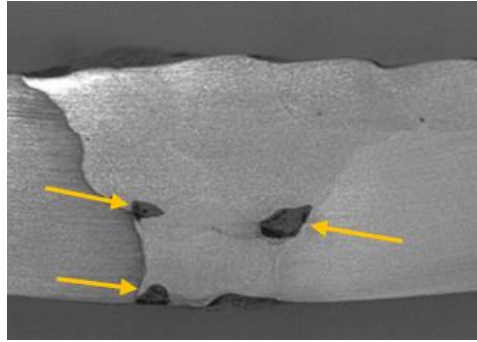


Fig. 1.3.19.2: Un exemplu macrografic de includere a zgurii [1.3.25]

Distorsiune:

Distorsiunea se referă la deformarea sau alinierea necorespunzătoare a metalului comun sau a îmbinării sudate datorită procesului de sudare. Aceasta poate duce la inexactități dimensionale, nepotriviri cu componentele adiacente sau concentrații de stres. Distorsiunea este influențată de diverși factori, printre care:

- Expansiunea și contracția termică în timpul sudării, în special la sudarea secțiunilor groase sau la utilizarea unor aporturi mari de căldură.
- Proiectarea necorespunzătoare a articulației, cum ar fi prevederea inadecvată pentru dilatare și contracție sau utilizarea inadecvată a dispozitivului de fixare pentru a controla distorsiunile.

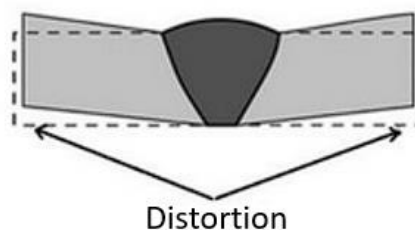


Fig. 1.3.20.1: Distorsiune prezentată prin desen 2-dimensional [1.3.30]



Fig. 1.3.20.2: Un exemplu de distorsiune [1.3.31]

Armare inadecvată:

Armarea inadecvată se referă la acumularea insuficientă a metalului de sudură în sudurile filetate sau la înălțimea inadecvată a talonului de sudură în sudurile cu canelură. Poate afecta rezistența și capacitatea de încărcare a articulației. Cauzele armării inadecvate includ:

- Dimensiunea insuficientă a sudurii sau tehnica de sudare necorespunzătoare, ceea ce duce la depunerea inadecvată a metalului de sudură.
- Selectarea necorespunzătoare a parametrilor sau consumabilelor de sudare, ceea ce duce la fuziune insuficientă sau la formarea incompletă a talonului de sudură.

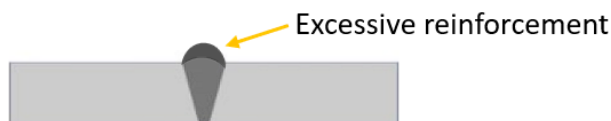


Fig. 1.3.21.1: Armare excesivă prezentată prin desen 2-dimensional

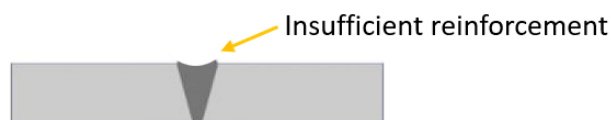


Fig. 1.3.21.2: Armătură insuficientă prezentată prin desen 2-dimensional

POROZITATE ȘI INCLUZIUNI DE GAZE

Porozitatea și incluziunile de gaz sunt defecte comune care pot apărea în îmbinările sudate și au un impact semnificativ asupra proprietăților și performanțelor lor mecanice. Înțelegerea cauzelor, caracteristicilor și metodelor de detectare a acestor defecte este crucială pentru asigurarea calității și fiabilității sudurilor. În această secțiune, vom aprofunda subiectul porozității și incluziunilor de gaze și implicațiile acestora în domeniul metalografiei.

Porozitatea se referă la prezența unor mici goluri sau cavități în metalul sudurii sau la interfața de sudură. Aceste goluri pot varia în funcție de dimensiune, formă și distribuție. Acestea sunt de obicei cauzate de captarea gazelor, cum ar fi hidrogenul, azotul sau oxigenul, în timpul solidificării metalului de sudură. Sursele acestor gaze pot include umiditatea, contaminanții de pe suprafețele sudate sau descompunerea anumitor compuși prezenți în metalul de bază sau consumabilele de sudură.

Incluziunile de gaz, pe de altă parte, sunt cavități discrete umplute cu gaz, care sunt de obicei mai mari decât porii asociați cu porozitatea. Ele pot fi sferice, alungite sau neregulate în formă și se găsesc adesea în metalul de sudură. Incluziunile de gaz pot rezulta din captarea gazelor în timpul solidificării sau din eliberarea gazelor dizolvate pe măsură ce sudura se răcește. Prezența incluziunilor de gaz poate avea efecte dăunătoare asupra proprietăților mecanice ale sudurii, cum ar fi reducerea ductilității acesteia, creșterea susceptibilității sale la fisurare și compromiterea integrității sale structurale.

Cauzele porozității și incluziunilor de gaze:

Umiditate și contaminanți: Umiditatea sau contaminanții prezenți pe suprafețele sudate pot duce la eliberarea de gaze în timpul sudării, ducând la porozitate și incluziuni de gaze.

Ecranare necorespunzătoare: Gazele sau fluxurile de protecție inadecvate pot să nu ofere suficientă protecție împotriva gazelor atmosferice, ceea ce duce la încorporarea lor în metalul de sudură.

Metale de bază și consumabile: Anumiți compuși prezenți în metalul de bază sau în consumabilele de sudură se pot descompune în timpul sudării, eliberând gaze care pot provoca porozitate și incluziuni de gaze.

Parametrii de sudare: Parametrii de sudură necorespunzători, cum ar fi aportul excesiv de căldură sau controlul necorespunzător al arcului, pot genera niveluri excesive de gaz în bazinul de sudură, ducând la porozitate.

Caracteristicile porozității și incluziunilor de gaze:

Dimensiune și formă: Porozitatea poate varia de la goluri mici, sferice, până la cavități mai mari de formă neregulată. Incluziunile de gaz sunt adesea mai mari și pot avea diferite forme, inclusiv sferice, alungite sau neregulate.

Distribuție: Porozitatea și incluziunile de gaz pot fi distribuite aleatoriu în întreaga sudură sau concentrate în zone specifice, în funcție de condițiile de sudare și proprietățile materialului.

Conectivitate: Porozitatea poate fi interconectată, formând rețele în cadrul sudurii, în timp ce incluziunile de gaz sunt de obicei discrete și izolate.

Efectul asupra proprietăților mecanice: Atât porozitatea, cât și incluziunile de gaz pot reduce proprietățile mecanice ale sudurii, cum ar fi rezistența, ductilitatea și duritatea, făcând-o mai predispusă la eșec.

Metode de detectare:

Inspekția vizuală: Examinarea suprafeței poate dezvălui prezența porozității vizibile sau a incluziunilor de gaze, deși este posibil să nu detecteze defecte mai mici sau subterane.

Examinarea metalografică: Probele transversale ale sudurii pot fi pregătite și analizate folosind microscopia optică sau microscopia electronică. Acest lucru permite caracterizarea precisă a porozității și incluziunilor de gaze, inclusiv dimensiunea, forma, distribuția și conectivitatea acestora.

Testarea nedistructivă (NDT): Tehnici precum testarea cu ultrasunete, testarea radiografică sau testarea curenților turbionari pot detecta și localiza defectele interne, inclusiv porozitatea și incluziunile de gaze, fără a fi nevoie de pregătirea sau distrugerea probei.

Testarea penetrantului: Această metodă implică aplicarea unui penetrant lichid pe suprafața sudurii, care se poate infiltra și evidenția porozitatea de rupere a suprafeței sau incluziunile de gaze, ajutând la detectarea acestora.

Detectarea și caracterizarea precisă a porozității și incluziunilor de gaz permit sudorilor și inspectorilor să evalueze calitatea sudurii și să ia măsurile corective adecvate. Prin identificarea cauzelor principale ale acestor defecte, cum ar fi ajustarea parametrilor de sudare, optimizarea

practicilor de ecranare sau îmbunătățirea curățeniei materialelor, se pot lua măsuri pentru a minimiza apariția acestora și pentru a spori integritatea și fiabilitatea îmbinărilor sudate.

LIPSA FUZIUNII ȘI PENETRAREA INCOMPLETĂ

Lipsa fuziunii și penetrarea incompletă sunt defecte comune de sudură care pot avea un impact semnificativ asupra integrității și rezistenței îmbinărilor sudate. În metalografie, studiul acestor defecte joacă un rol crucial în înțelegerea cauzelor, caracteristicilor și metodelor lor de detectare.

Cauzele lipsei de fuziune și penetrare incompletă:

Intrare inadecvată de căldură: Aportul insuficient de căldură în timpul procesului de sudare poate împiedica fuziunea adecvată între metalul de bază și metalul de umplere, ducând la o lipsă de fuziune sau la o penetrare incompletă.

Tehnica de sudare necorespunzătoare: Manipularea incorectă a pistolului sau electrodului de sudare, cum ar fi viteza necorespunzătoare de deplasare sau unghiul electrodului, poate duce la fuziune și penetrare inadecvată.

Proiectarea și montarea îmbinărilor: Proiectarea slabă a îmbinărilor, inclusiv decalajul excesiv sau potrivirea slabă între metalele de bază, poate împiedica fuziunea și penetrarea corespunzătoare.

Controlul bazinului de sudură: Controlul inadecvat al bazinului de sudură topit, cum ar fi țesutul excesiv sau manipularea necorespunzătoare a arcului, poate contribui la fuziunea și penetrarea insuficientă.

Caracteristicile lipsei de fuziune și penetrare incompletă:

Lipsa fuziunii: Lipsa fuziunii apare atunci când nu există o legătură adecvată a metalului de umplutură sau a metalului de bază. Apare ca o zonă necondensată între metalul de bază și metalul de sudură.

Penetrare incompletă: Penetrarea incompletă se referă la eșecul metalului de sudură de a pătrunde prin întreaga grosime a îmbinării. Se caracterizează printr-o fuziune parțială între metalul de bază și metalul de sudură, rezultând o lipsă de continuitate în îmbinare.

Lipsa fuziunii și penetrarea incompletă pot apărea în diferite locații din sudură, cum ar fi rădăcina, pereții laterali sau suprafața. Amploarea defectului poate varia de la discontinuități localizate până la acoperirea unei porțiuni semnificative a articulației.

Efectul asupra rezistenței articulației: Lipsa fuziunii și penetrarea incompletă pot reduce semnificativ rezistența și capacitatea portantă a îmbinării sudate. Aceste defecte creează căi potențiale pentru inițierea și propagarea fisurilor, ducând la eșecul prematur sub solicitările aplicate.

Metode de detectare:

Inspekția vizuală: Examinarea vizuală a suprafeței de sudură poate dezvălui adesea prezența lipsei de fuziune sau a penetrării incomplete. Cu toate acestea, este posibil să nu fie suficient pentru detectarea defectelor interne sau pentru caracterizarea precisă.

Analiza metalografică: Analiza transversală a sudurii folosind microscopia optică sau microscopia electronică permite inspekția detaliată a zonei de sudură. Această metodă ajută la identificarea prezenței, extinderii și localizării lipsei de fuziune și penetrării incomplete.

Testarea radiografică: Tehnicile de testare nedistructivă, cum ar fi radiografia cu raze X sau gamma, pot detecta defectele interne, inclusiv lipsa fuziunii și penetrarea incompletă, oferind o imagine bidimensională a sudurii.

Testarea cu ultrasunete: Examinarea cu ultrasunete utilizează undele sonore pentru a detecta și evalua defectele interne. Poate detecta în mod eficient lipsa fuziunii și penetrarea incompletă prin analizarea ecourilor reflectate de defecte.

SUBCOTĂRI ȘI PENETRARE EXCESIVĂ

Subcotările și penetrarea excesivă sunt defecte comune de sudură care pot apărea în timpul procesului de sudare. În domeniul metalografiei, aceste defecte au o importanță deosebită, deoarece pot afecta integritatea structurală și proprietățile mecanice ale îmbinărilor sudate. Să explorăm aceste defecte, inclusiv cauzele, caracteristicile și metodele lor de detectare.

Cauze care duc la apariția Undercuts:

Subcotările sunt de obicei cauzate de căldură excesivă sau de tehnici de sudare necorespunzătoare. Cauzele comune ale subcotărilor includ:

Curent sau tensiune de sudură ridicată care duce la un aport excesiv de căldură.

Controlul inadecvat al parametrilor de sudare, cum ar fi viteza de deplasare și lungimea arcului.

Unghiul incorect al torței sau tehnica de manipulare necorespunzătoare.

Selecție insuficientă sau necorespunzătoare a metalului de umplere.

Caracteristicile subcotărilor:

Tăieturile inferioare sunt caracterizate printr-o canelură sau o cavitate de-a lungul marginilor îmbinării sudurii. Adâncimea și lățimea tăieturii inferioare pot varia în funcție de gravitatea defectului. Tăieturile inferioare pot slăbi articulația prin reducerea grosimii efective a gâtului, compromițând rezistența mecanică și rezistența la oboseală.

Metode de detectare a tăieturilor inferioare:

Metalografia oferă diverse metode pentru detectarea și evaluarea tăieturilor inferioare în îmbinările sudate:

Inspekție vizuală: Tăieturile inferioare sunt adesea vizibile cu ochiul liber. Inspekția vizuală poate ajuta la identificarea prezenței și amplitudinii defectului.

Examinarea macroscopică: Prin secționarea îmbinării sudurii și examinarea acesteia la microscop, adâncimea și amploarea subcotărilor pot fi măsurate și evaluate.

Analiza microstructurală: Tehnicile metalografice, cum ar fi gravarea, pot dezvălui modificările microstructurale asociate cu tăieturile, ajutând la determinarea gravității și impactului acesteia asupra îmbinării sudurii.

Cauzele penetrării excesive:

Penetrarea excesivă se referă la metalul de sudură care se extinde dincolo de adâncimea dorită în metalul de bază. Poate apărea din cauza unor factori precum:

Curent sau tensiune de sudură ridicată care duce la un aport excesiv de căldură.

Pregătirea sau montarea necorespunzătoare a îmbinărilor, ceea ce duce la un control inadecvat al formei și dimensiunii bazinului de sudură.

Tehnică incorectă de sudare sau manipulare necorespunzătoare a pistolului de sudură.

Gaz de protecție inadecvat sau acoperire cu flux.

Caracteristicile penetrării excesive:

Penetrarea excesivă se caracterizează prin penetrarea excesivă a metalului de sudură în metalul de bază. Acest lucru poate duce la probleme cum ar fi lipsa fuziunii, distorsiunea și rezistența redusă a articulațiilor. Penetrarea excesivă poate fi observată vizual prin examinarea secțiunii transversale a îmbinării sudurii.

Metode de detectare a penetrării excesive:

Metalografia oferă mai multe tehnici pentru detectarea și evaluarea penetrării excesive:

Inspecție vizuală: Penetrarea excesivă poate fi identificată vizual prin examinarea secțiunii transversale a îmbinării sudurii.

Examinarea macroscopică: Prin pregătirea secțiunilor transversale ale îmbinării sudurii și observarea acestora sub microscop, pot fi evaluate adâncimea și gradul de penetrare excesivă.

Analiza microstructurală: Tehnicile metalografice, inclusiv gravarea, pot dezvălui adâncimea de penetrare și pot evalua impactul acesteia asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale îmbinării sudurii.

Înțelegerea cauzelor, caracteristicilor și metodelor de detectare a subcotărilor și penetrării excesive este crucială în domeniul metalografiei. Prin inspecție vizuală, examinare macroscopică și analiză microstructurală, metalografii pot evalua severitatea acestor defecte și impactul lor asupra integrității și performanței îmbinărilor sudate. Aceste cunoștințe permit un control eficient al calității și ajută la asigurarea producției de suduri solide în diverse industrii.

FISURI ÎN ÎMBINĂRILE SUDATE

Fisurile în îmbinările sudate prezintă provocări semnificative în domeniul tehnologiei de sudare și reprezintă defecte semnificative care pot apărea în îmbinările sudate, compromițând

integritatea structurală și proprietățile mecanice ale componentelor sudate. Înțelegerea cauzelor, caracteristicilor, detectarea și evaluarea acestor defecte este esențială pentru asigurarea fiabilității și siguranței structurilor sudate. Prin implementarea măsurilor preventive adecvate, efectuarea de inspecții amănunțite și utilizarea unor metode eficiente de reparații, inginerii și practicienii pot atenua riscurile asociate fisurilor, ceea ce duce la îmbunătățirea calității sudurii, îmbunătățirea performanței structurale și creșterea siguranței în diverse industrii și aplicații.

Tipuri și caracteristici ale fisurilor în îmbinările sudate:

- Fisuri fierbinți: fisuri de lichefiere, fisuri de solidificare
- Crăpături reci: fisuri induse de hidrogen, fisuri întârziate, fisuri de incluziune etc.
- Crăpături de coroziune de stres
- Crăpături de oboseală
- Fracturi fragile
- Fracturi ductile
- Micro-fisuri și micro-goluri

Factorii care influențează formarea fisurilor:

- Parametrii de sudare: Intrare de căldură, viteză de sudare, preîncălzire
- Proprietățile materialului: rezistență, duritate, susceptibilitate la fragilitatea hidrogenului
- Tensiuni reziduale
- Tehnica de sudare: proiectarea îmbinărilor, forma mărgelilor de sudură, selectarea metalului de umplere
- Condiții de mediu: umiditate, medii corozive, temperatură

Detectarea și evaluarea fisurilor:

Inspecție vizuală: examinarea suprafeței, evaluarea macroscopică

Tehnici de testare nedistructivă (NDT): testare cu ultrasunete, radiografie, testare cu particule magnetice, testare penetrant colorant

Examen microscopic: Metalografie, microscopie optică, microscopie electronică

Analiza suprafeței de fractură: fractografie, analiza căii fisurii, determinarea modurilor de fractură

Testare mecanică: testare la tracțiune, testare la impact Charpy, testare rezistență la fractură

Evaluarea gravității extinderii fisurii în ceea ce privește repararea:

- Dimensionarea și măsurarea fisurilor
- Determinarea potențialului de propagare a fisurilor
- Evaluarea ratelor de creștere a fisurilor
- Adecvarea pentru calculele și standardele de service

Atenuarea și repararea fisurilor:

- Tehnici de reparare a sudurii: Suprapunerea sudurii, resudarea, tratamentul termic post-sudură
- Metode de ameliorare a stresului: Tratament termic, recoacere pentru ameliorarea stresului
- Modificarea și armarea sudurii
- Selectarea materialelor și optimizarea proceselor pentru a preveni formarea fisurilor

Raportare și documentare:

- Documentarea detaliată a evaluărilor fisurilor și fracturilor
- Formate și standarde de raportare (de exemplu, ASTM, ISO)
- Comunicarea rezultatelor evaluării către părțile interesate relevante
- Recomandări pentru reparare, înlocuire sau investigații suplimentare

NEREGULARITĂȚI DE SUPRAFAȚĂ ȘI STROPI

Neregularitățile suprafeței și stropirea sunt probleme comune întâlnite în procesele de sudare care pot afecta aspectul, funcționalitatea și calitatea îmbinărilor sudate. Neregularitățile suprafeței se referă la abaterile de la suprafața netedă și uniformă dorită, în timp ce stropii se referă la expulzarea picăturilor de metal topit în timpul sudării. Presentul text tehnic oferă o imagine de ansamblu aprofundată a neregularităților de suprafață și a stropilor în sudare, inclusiv tipurile, cauzele, tehnicile de detectare, prevenire și atenuare a acestora.

Tipuri și caracteristici ale neregulilor de suprafață:

- Suprafețe aspre: fuziune incompletă, penetrare insuficientă, parametri de sudură necorespunzători
- Subcotări și umplere: Consum excesiv de căldură, tehnică de sudare necorespunzătoare, pregătire necorespunzătoare a îmbinării
- Armare suprapusă și excesivă: tehnică incorectă de sudare, control necorespunzător al dimensiunii sudurii
- Crăpături de suprafață: stres termic, răcire rapidă, tratament termic necorespunzător
- Porozitatea suprafeței: contaminanți, gaz de protecție necorespunzător, tehnică de sudare inadecvată
- Culori de oxidare și temperare: acoperire insuficientă a gazului de protecție, expunere la aer, curățare necorespunzătoare

Cauzele neregulilor de suprafață și ale stropilor:

- Parametri de sudare necorespunzători: Curent de sudare, tensiune, viteză de deplasare
- Selectarea incorectă a electrodului sau a firului de umplere
- Montare și pregătire slabă a articulațiilor
- Contaminanți pe piesa de prelucrat sau consumabile pentru sudură
- Acoperirea inadecvată a gazului de protecție sau debitul de gaz



- Prezența umidității sau a uleiului pe suprafața piesei de prelucrat
- Curățarea insuficientă a piesei de prelucrat înainte de sudare
- Tehnica de sudare și priceperea operatorului

Detectarea și evaluarea neregulilor de suprafață:

Inspecție vizuală: Examinarea suprafeței pentru nereguli, stropi și defecte

Microscopie optică: Examinarea caracteristicilor suprafeței și a morfologiei

Tehnici de testare nedistructivă (NDT): Testare cu ultrasunete, radiografie, testare cu particule magnetice

Prevenirea și controlul neregularităților de suprafață și a stropirii:

- Parametrii de sudare corespunzători și optimizarea tehnicii
- Pregătirea și montarea adecvată a îmbinărilor
- Curățarea și îndepărtarea eficientă a contaminanților
- Selectarea gazului de protecție adecvat și a debitului
- Utilizarea agenților anti-stropire și a acoperirilor
- Întreținerea și calibrarea echipamentelor de sudură
- Formarea și calificarea sudorilor

Atenuarea și repararea neregularităților de suprafață:

- Șlefuirea și refinișarea suprafețelor
- Modificarea profilului de sudură și amestecarea
- Îndepărtarea armăturilor în exces și a subcotărilor
- Utilizarea materialelor de umplură adecvate pentru reparații

Raportare și documentare:

- Documentație detaliată a neregulilor de suprafață și a stropilor
- Formate și standarde de raportare (de exemplu, ISO, AWS)
- Comunicarea rezultatelor evaluării către părțile interesate relevante
- Recomandări pentru prevenire, atenuare și reparare

Neregularitățile suprafeței și stropirea în sudură pot avea un impact semnificativ asupra calității și performanței îmbinărilor sudate. Implementarea parametrilor de sudură adecvați, optimizarea pregătirii îmbinărilor, menținerea curățeniei și utilizarea măsurilor adecvate de protecție împotriva gazelor și a stropilor sunt esențiale pentru obținerea unor suprafețe netede, fără defecte. Prin îmbunătățirea continuă, monitorizarea și respectarea standardelor stabilite, profesioniștii pot asigura suduri de înaltă calitate, cu estetică, funcționalitate și fiabilitate superioare.

1.3.4. Evaluarea calității sudurii

Evaluarea calității unei suduri este un aspect critic al tehnologiei de sudare. În acest subcapitol, vom discuta despre modul în care examinarea macroscopică este utilizată pentru a evalua calitatea generală a unei suduri. Vom explora criteriile de acceptare, inclusiv dimensiunea, localizarea și severitatea defectelor, precum și aspectul vizual și alinierea sudurii. Urmând liniile directoare și standardele stabilite, putem face evaluări obiective și putem determina acceptarea sau respingerea îmbinărilor sudate, pentru aplicațiile prevăzute, pe baza rezultatelor examinării macroscopice.

Detectarea și evaluarea neregularităților de suprafață:

Inspecție vizuală: examinarea vizuală a suprafeței pentru neregularități, stropi și defecte

Microscopia optică: Examinarea caracteristicilor și structurii suprafeței

Tehnici de testare nedistructivă (NDT): Testare cu ultrasunete, radiografie, testare cu particule magnetice

Prevenirea și controlul neregularităților de suprafață și a stropilor:

- Parametrii de sudare corespunzători și optimizarea tehnicii de sudare;
- Pregătirea adecvată a îmbinării și asamblarea corespunzătoare;
- Curățarea eficientă și îndepărtarea impurităților;
- Selectarea adecvată a gazului de protecție și a debitului;
- Utilizarea agenților anti-stropire și a acoperirilor corespunzătoare;
- Întreținerea și calibrarea echipamentului de sudare;
- Formarea și calificarea sudorilor;

Atenuarea și repararea neregularităților de suprafață:

- Rectificarea și finisarea suprafețelor;
- Modificarea parametrilor de sudare;

- Îndepărtarea excesului de material și a lipsei de pătrundere;
- Utilizarea materialelor de adaos adecvate pentru reparare;

Raportare și documentare:

- Documentarea detaliată a neregularităților suprafeței și a stropilor;
- Formate și standarde de raportare (de exemplu, ISO, AWS);
- Comunicarea rezultatelor evaluării părților interesate relevante;
- Recomandări pentru prevenire, atenuare și reparare;

Neregularitățile de suprafață și stropii în sudură pot avea un impact semnificativ asupra calității și performanței îmbinărilor sudate. Implementarea parametrilor de sudare corespunzători, optimizarea pregătirii îmbinărilor, menținerea curățeniei și utilizarea adecvată a gazului de protecție și a măsurilor anti-stropi sunt esențiale pentru obținerea unei suprafețe netede și fără defecte. Prin îmbunătățiri continue de monitorizare și respectare a standardelor stabilite, profesioniștii pot asigura suduri de înaltă calitate, cu o estetică superioară, funcționalitate și fiabilitate.

1.3.4. Evaluarea calității sudurii

Evaluarea calității unei suduri este un aspect critic al tehnologiei de sudare. În acest subcapitol, vom discuta despre modul în care examinarea macroscopică este utilizată pentru a evalua calitatea generală a unei suduri. Vom explora criteriile de acceptare, inclusiv dimensiunea, locația și severitatea defectelor precum și aspectul vizual și alinierea sudurii. Prin urmarea ghidurilor și standardelor stabilite, putem face evaluări obiective pentru determinarea acceptării sau respingerea îmbinărilor sudate, în funcție de aplicațiile prevăzute, pe baza constatărilor examinării macroscopice.

CRITERII DE ACCEPTARE PENTRU CALITATEA SUDURII

Criteriile de acceptare pentru calitatea sudurii servesc drept ghiduri și standarde pentru evaluarea adecvării și integrității îmbinărilor sudate. Aceste criterii definesc limitele permise pentru diverse caracteristici ale sudurii și asigură că sudura îndeplinește cerințele și așteptările de performanță specificate. Stabilirea unor criterii de acceptare clare și consistente este crucială pentru controlul calității, conformitatea cu standardele industriale și asigurarea siguranței și fiabilității structurilor sudate. Această secțiune oferă o prezentare generală a principalilor factori și parametri luați în considerare în stabilirea criteriilor de acceptare pentru calitatea sudurii.

Coduri și standarde de sudare:

- Standarde internaționale: ISO 3834, ISO 15614, ISO 9606, etc.
- Standarde naționale: AWS D1.1, ASME Section IX, EN ISO 15614, etc.
- Standarde specifice industriei: API 1104, ASME B31.3, etc.

Atribute ale sudurii și nivele de acceptare:



- Dimensiunile sudurii: Dimensiunea, forma, întăritura, penetrarea și profilele de sudură în colț;
- Discontinuități: porozitate, fisuri, lipsă de fuziune, pătrundere incompletă, subcotare, etc.
- Aspect vizual: neregularități de suprafață, stropire, decolorare și contaminare;
- Proprietăți mecanice: rezistență la tracțiune, tenacitate la impact, duritate, etc.

Tehnici de testare nedistructivă (NDT):

- Testare cu ultrasunete (UT): Detectarea defectelor interne, discontinuităților și defectelor de legătură;
- Testare radiografică (RT): Evaluarea defectelor interne și de suprafață folosind raze X sau raze gamma;
- Testarea cu particule magnetice (MT): Detectarea defectelor de suprafață și aproape de suprafață în materiale feromagnetice;
- Testarea cu lichide penetrante (PT): Identificarea defectelor de suprafață și a fisurilor;
- Inspecție vizuală: Examinarea aspectului sudurii, dimensiunilor și stării suprafeței;

Nivele și criterii de acceptare:

- Nivele de acceptare: acceptabil, reparabil sau respingător în funcție de severitatea și impactul defectelor;
- Criterii de acceptare: limite și praguri specifice pentru fiecare caracteristică sau parametru de sudură;
- Clasificarea defectelor: Clasificarea defectelor în funcție de dimensiune, locație și tip;

Evaluare și interpretare:

- Personal calificat: Inspectori sau tehnicieni NDT autorizați pentru o evaluare precisă;
- Documentarea și păstrarea înregistrărilor: documentarea corespunzătoare a rezultatelor inspecției, procedurilor și deciziilor de acceptare;
- Respectarea standardelor: Verificarea calității sudurii în conformitate cu codurile și specificațiile aplicabile;

Repararea sudurilor și examinarea post-sudare:

- Proceduri de reparare: Metode și cerințe definite pentru abordarea non-conformităților
- Examinare post-reparare: Validarea sudurilor reparate pentru a asigura conformitatea cu criteriile de acceptare;

În Uniunea Europeană (UE), mai multe standarde sunt aplicabile pentru detectarea și evaluarea lipsei de fuziune și a penetrării incomplete în îmbinările sudate. Aceste standarde oferă îndrumări și cerințe pentru metodele de testare, criteriile de acceptare și procedurile de control al calității.

EN ISO 5817 – Sudare - Îmbinări sudate prin topire din oțel, nichel, titan și aliajele acestora (Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni). Această normă specifică nivele de calitate pentru lipsa de fuziune și penetrare incompletă, printre alte imperfecțiuni, în îmbinările sudate prin topire. Furnizează criteriile de acceptare bazate pe inspecția vizuală și examinarea radiografică.

EN ISO 17636-2 - Testarea nedistructivă a sudurilor - Testarea radiografică - Partea 2: Tehnici cu raze X și gama cu film: Această normă specifică cerințele pentru testarea radiografică a sudurilor folosind tehnici cu raze X și raze gamma cu film. Acoperă detectarea și evaluarea lipsei de fuziune și a penetrării incomplete, precum și a altor defecte ale sudurii.

EN ISO 17636-3 - Testarea nedistructivă a sudurilor - Testarea radiografică - Partea 3: Tehnici digitale: Acestă normă stabilește cerințele pentru testarea radiografică a sudurilor folosind tehnici digitale. Include detectarea și evaluarea lipsei de fuziune și a penetrării incomplete, precum și a altor defecte ale sudurii.

EN ISO 16810 - Testare nedistructivă a sudurilor - Testarea cu ultrasunete - Tehnica de difracție a timpului de propagare ca metodă de detectare și dimensionare a discontinuităților: Acest standard specifică tehnica de difracție în timp de propagare a undelor (TOFD) pentru detectarea și dimensionarea discontinuităților de sudură, inclusiv lipsa de fuziune și penetrarea incompletă.

EN ISO 23278 - Testare nedistructivă a sudurilor. Testarea particulelor magnetice: Acest standard stabilește cerințele pentru utilizarea testelor cu particule magnetice în vederea detectării defectelor de suprafață și aproape de suprafață în suduri. Furnizează criteriile pentru evaluarea indicațiilor și determinarea acceptabilității acestora în funcție de mărime, formă și locație.

EN ISO 3452- Testare nedistructivă a sudurilor. Testarea cu penetranți: Acest standard definește cerințele pentru efectuarea testelor de penetrare cu lichide în vederea detectării defectelor de suprafață în suduri. Specifică criteriile de acceptare pentru evaluarea indicațiilor în funcție de mărimea, forma și vizibilitatea acestora.

EN ISO 10042 -Sudare - Îmbinări de aluminiu și aliaje de aluminiu sudate cu arc electric. Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni: Acest standard se referă în mod specific la nivelurile de calitate pentru imperfecțiunile în îmbinările sudate prin sudare cu arc electric pentru aluminiu și aliajele sale. Stabilește limitele și dimensiunile acceptabile ale imperfecțiunilor pentru a asigura integritatea sudurii.

EN ISO 15614-1- Specificarea și calificarea procedeelelor de sudare pentru materiale metalice. Testarea procedurii de sudare – Partea 1: Sudarea cu arc și gaz a oțelurilor și sudarea cu arc a nichelului și a aliaje de nichel Acest standard se concentrează asupra calificării procedurilor de sudare pentru materialele metalice. Furnizează îndrumări pentru efectuarea testelor de procedură de sudare, inclusiv criteriile de acceptare pentru calitatea sudurii. **Partea 2:** Sudarea cu arc a aluminiului și a aliajelor sale: Acest standard specifică modul în care o specificație preliminară a procedurii de sudare este calificată prin testele procedurii de sudare.

EN ISO 14731 – Coordonarea sudurii - Sarcini și responsabilități : Acest standard definește sarcinile și responsabilitățile personalului de coordonare a sudurii implicați în asigurarea

calității sudurii. Conturează cerințele pentru gestionarea proceselor de sudare, inclusiv inspecția și criteriile de acceptare.

EN ISO 3834 - Cerințe de calitate pentru sudarea prin topire a materialelor metalice : Acest standard specifică cerințele de calitate pentru sudarea prin topire a materialelor metalice. Acoperă aspecte precum procedurile de sudare, calificările personalului, inspecția și criteriile de acceptare pentru a asigura calitatea generală a îmbinărilor sudate.

STANDARDE DE INSPECȚIE VIZUALĂ ȘI DE ACCEPTARE

Inspecția vizuală joacă un rol crucial în evaluarea calității sudurilor și există mai multe standarde europene care oferă îndrumări pentru inspecția vizuală și criteriile de acceptare.

Standarde UE legate de inspecția vizuală și standardele de acceptare includ:

EN ISO 17637 - Testarea nedistructivă a sudurilor -Testarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire : Acest standard specifică cerințele pentru testarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire. Conturează procedurile, echipamentele și criteriile de acceptare pentru evaluarea condițiilor de suprafață, dimensiunilor și aspectului general al sudurilor folosind tehnici de inspecție vizuală.

EN ISO 5817 - Îmbinări sudate prin fuziune din oțel, nichel, titan și aliajele acestora, cu excepția sudării cu fascicule de energie (Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni): După cum s-a menționat anterior, acest standard stabilește niveluri de calitate pentru imperfecțiunile în îmbinările sudate prin topire. Acesta include criterii de acceptare vizuală pentru diverse tipuri de imperfecțiuni, cum ar fi porozitatea, scobitura, lipsa de fuziune, etc.

EN ISO 13920 – Sudare - Toleranțe generale pentru construcții sudate - Dimensiuni pentru lungimi și unghiuri – Formă și poziție: Acest standard specifică toleranțe generale pentru construcțiile sudate și oferă linii directe pentru abaterile dimensionale și geometrice în structurile sudate. Ajută la definirea criteriilor de acceptare pe baza abaterilor permise de la dimensiunile și unghiurile specificate.

EN 1290 - Sudarea - Determinarea numărului de ferită (FN) în metalele de sudare din oțel inoxidabil Cr-Ni austenitic și duplex feritic-austenitic: Deși acest standard este specific pentru determinarea feritei în sudurile din oțel inoxidabil, evidențiază criteriile de acceptare vizuală pentru determinarea conținutului de ferită în suduri folosind diferite metode, cum ar fi examinarea microscopică și tehnicile de atac chimic.

EN ISO 17635 – Testare nedistructivă a sudurilor – Reguli generale pentru materiale metalice

Acest standard stabilește reguli generale pentru testarea nedistructivă a sudurilor din materiale metalice. Include prevederi pentru inspecția vizuală, precum și alte metode de testare, cum ar fi testarea radiografică, testarea ultrasonică și testarea particule magnetice.

EN ISO 10275 – Sudare - Pregătirea îmbinărilor - Partea 3: Sudarea cu gaz inert și electrod metalic și sudarea cu gaz inert tungsten a cuprului și aliajelor acestuia

Deși specific pentru cupru și aliajele sale, acest standard oferă îndrumări pentru pregătirea îmbinărilor în sudarea cu gaz inert metalic (MIG) și sudarea cu gaz inert wolfram (TIG). Include

criterii de acceptare vizuală pentru calitatea sudurii, incluzând condițiile de suprafață și penetrarea.

EN ISO 10042 Sudare - Îmbinări de aluminiu și aliaje de aluminiu sudate cu arc electric. Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni: Acest standard specifică nivelurile de calitate pentru imperfecțiuni în îmbinările sudate cu arc în aluminiu și aliajele sale. Stabilește criteriile de acceptare vizuală pentru diverse tipuri de imperfecțiuni, cum ar fi porozitatea, lipsa de fuziune, fisuri și cratera.

ASPECTE DIMENSIONALE ȘI ALINIERE

Evaluarea calității sudurii în ceea ce privește cerințele dimensionale și alinierea implică evaluarea conformității îmbinărilor sudate la toleranțele dimensionale și criteriile de aliniere specificate. Evaluarea are ca scop asigurarea faptului că componentele sudate îndeplinesc dimensiunile, potrivirea și alinierea proiectate, garantând astfel integritatea structurală și funcționalitatea produsului final.

În domeniul metalurgiei, pot fi utilizate mai multe tehnici și metode pentru evaluarea calității sudurii în ceea ce privește cerințele dimensionale și alinierea. Acestea includ:

Inspekția Vizuală: Inspekția vizuală este cea mai simplă și frecvent utilizată metodă pentru evaluarea cerințelor dimensionale și alinierii în îmbinările sudate. Aceasta implică examinarea vizuală a îmbinării sudate pentru orice abateri față de dimensiunile specificate, cum ar fi o supraînălțare excesivă a sudurii, insuficient material de umplere sau o penetrare excesivă în rădăcină. Inspekția vizuală ajută, de asemenea, la detectarea devierilor în aliniere, unghiuri sau distorsiuni care pot afecta potrivirea generală și funcționarea componentei sudate.

Măsurători și Metrologie: Instrumente de măsurare de precizie, cum ar fi calibrele, micrometrele, aparatele de înălțime și sistemele de aliniere cu laser, pot fi utilizate pentru a măsura dimensiunile critice și alinierea îmbinărilor sudate. Aceste măsurători sunt comparate cu toleranțele dimensionale specificate în desenele tehnice sau în standardele aplicabile pentru a evalua calitatea sudurii. Tehnicile de măsurare ar trebui să asigure precizie și repetabilitate pentru a obține rezultate fiabile.

Mașini de Măsurat cu Coordonate (CMM): CMM-urile sunt dispozitive de metrologie avansate care permit măsurători precise și automate ale geometriilor complexe. CMM-urile utilizează sonde pentru a captura coordonatele tridimensionale ale unor caracteristici specifice sau puncte de referință de pe îmbinarea sudată. Datele obținute sunt comparate cu modelul CAD sau cu cerințele dimensionale specificate pentru a evalua calitatea sudurii în ceea ce privește conformitatea dimensională și alinierea.

Tehnici de Testare Nedistructivă (NDT): Metodele NDT, cum ar fi testarea ultrasonică, testarea cu particule magnetice sau scanarea cu laser, pot fi de asemenea utilizate pentru evaluarea cerințelor dimensionale și alinierii în îmbinările sudate. Aceste tehnici pot furniza informații detaliate despre caracteristicile interne și externe, identifica orice abateri față de dimensiunile specificate și evalua caracteristicile de aliniere fără a cauza daune sudurii.

Analiză Statistică: Tehnicile de analiză statistică, cum ar fi studiile de capacitate a procesului, pot fi utilizate pentru a evalua calitatea generală a sudurii în ceea ce privește cerințele

dimensionale și alinierea. Aceste analize implică colectarea datelor dintr-o probă reprezentativă de îmbinare sudată, analizarea statistică a datelor și determinarea capacității procesului de a îndeplini toleranțele dimensionale și criteriile de aliniere specificate.

Standardele europene, cum ar fi EN ISO 13920, EN 1090-2 și EN ISO 5817, furnizează criteriile de acceptare și îndrumări pentru evaluarea calității sudurii în ceea ce privește cerințele dimensionale și alinierea. Aceste standarde definesc limite de toleranță, metode de inspecție și tehnici de măsurare pentru a asigura conformitatea cu cerințele dimensionale specificate. Evaluarea calității sudurii în ceea ce privește cerințele dimensionale și alinierea este esențială pentru a garanta funcționalitatea, performanța și integritatea structurală a componentelor sudate și pentru a îndeplini standardele industriale și așteptările clienților.

EVALUAREA GRAVITĂȚII DEFECTELOR ȘI CLASIFICAREA LOR

Evaluarea calității sudurii prin evaluarea gravității defectelor și clasificării acestora implică determinarea semnificației și impactului defectelor asupra integrității structurale, performanței și funcționalității îmbinărilor sudate. Această evaluare are drept scop: clasificarea defectelor în funcție de nivelurile lor de gravitate, prioritizarea acțiunilor corective și asigurarea conformității cu standardele și specificațiile aplicabile.

Pentru a evalua gravitatea și clasificarea defectelor de sudură, în domeniul metalografiei pot fi utilizate diverse tehnici și metode. Acestea includ:

Inspecție vizuală: inspecția vizuală este pasul inițial în evaluarea gravității și clasificării defectelor. Implică examinarea vizuală a îmbinării sudate pentru identificarea defectelor precum: fisuri, porozitate, lipsă de fuziune, cratere și stropi de metal. Inspectorul evaluează dimensiunea, forma, locația și distribuția defectelor pentru a determina gravitatea și clasificarea acestora.





Fig 1.3.22: Imperfecțiuni constatate în timpul inspecțiilor vizuale: stropi localizați (a); zona neuniform afectată termic (b); suraînălțări locale și cratera la nivelul sudurii (c) [1.3.32]

Tehnici de Testare Nedistructivă (NDT): Metodele NDT, cum ar fi testarea ultrasonică, testarea radiografică, testarea cu particule magnetice și testarea cu penetrare cu colorant, sunt frecvent utilizate pentru evaluarea gravității defectelor și clasificarea acestora. Aceste tehnici furnizează informații detaliate despre dimensiunea, forma, locația și amploarea defectelor în îmbinarea sudată. Metodele NDT pot ajuta la identificarea defectelor critice care ar putea compromite integritatea sudurii și la clasificarea acestora în funcție de nivelurile lor de gravitate.

Tabelul 1.3.1: Mai multe tehnici utilizate în testarea nedistructivă:

Defect intern	RT: Testare radiografică
	UT: Testare ultrasonică
	VI: Inspecție vizuală
Defect de suprafață ET	MT: Testare cu particule magnetice
Defect de suprafață	PT: Testare cu lichide penetrate

Examinarea macroscopică: Examinarea macroscopică implică utilizarea macrofotografiilor și secționarea transversală a îmbinării sudate pentru a evalua severitatea și clasificarea defectelor. Macrofotografiile oferă o reprezentare vizuală detaliată a defectelor, permițând o mai bună evaluare a dimensiunilor, distribuției și influența lor asupra zonei înconjurătoare. Secționarea transversală presupune tăierea îmbinării sudate pentru a expune caracteristicile interne și defectele, permițând o examinare amănunțită a naturii, dimensiunii și poziției acestora.

Criterii de acceptare și standarde: Evaluarea calității sudurii în ceea ce privește severitatea și clasificarea defectelor se bazează pe criterii de acceptare și standarde stabilite. Standardele europene, cum ar fi EN ISO 5817 și EN ISO 10042, oferă orientări și specificații pentru evaluarea nivelurilor de severitate ale diverselor defecte de sudură. Aceste standarde definesc nivelurile de acceptare și furnizează criteriile pentru clasificarea defectelor în funcție de dimensiunea, lungimea, adâncimea și alți parametri ai acestora.

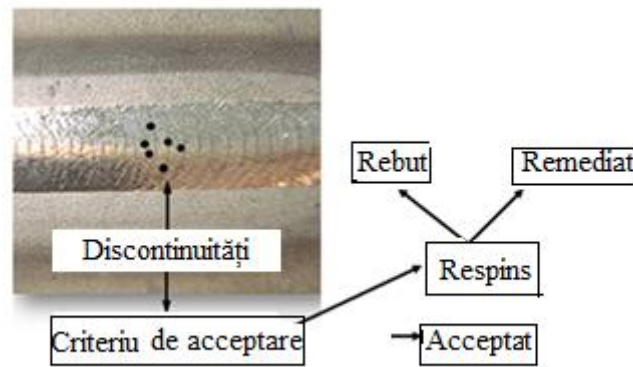


Fig. 1.3.23: Evaluarea critică a sudurii: aplicarea criteriilor de acceptare pentru evaluarea calității [1.3.33]

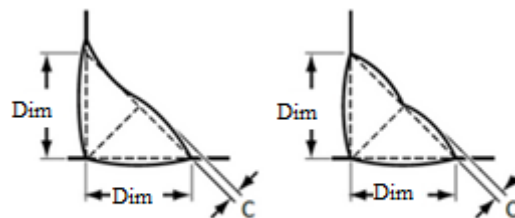


Figura 1.3.24.1: Profiluri de sudură în colț acceptabile [1.3.33]

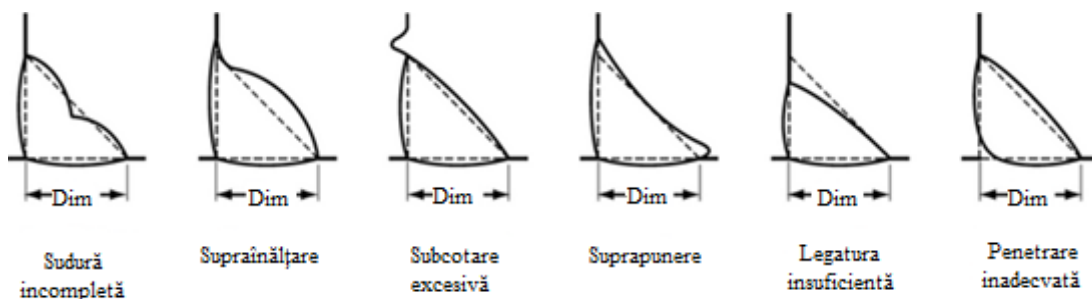


Figura 1.3.24.2: Profiluri de sudură în colț inacceptabile [1.3.33]

Evaluarea de către experți: În anumite situații, competența și experiența personalului calificat joacă un rol crucial în evaluarea severității și clasificării defectelor. Metalurgi calificați, inspecții de sudură și ingineri cu o înțelegere profundă a proceselor de sudare și a caracteristicilor defectelor pot oferi perspective și judecăți valoroase în determinarea severității defectelor și a impactului acestora asupra calității sudurii.

În timpul evaluării calității sudurii, defectele sunt în mod obișnuit clasificate în diferite categorii, cum ar fi defecte critice, majore și minore, în funcție de criteriile de acceptare predefinite. Clasificarea ajută la prioritizarea acțiunilor corective, determinarea necesității de reparare sau reexecutare și asigurarea conformității cu standardele și specificațiile relevante. Este important de menționat că severitatea și clasificarea defectelor pot varia în funcție de aplicația specifică,

tipul de sudură, material și cerințele industriale. Prin urmare, evaluarea calității sudurii ar trebui să țină cont de contextul specific și de criteriile definite de standardele și specificațiile aplicabile. Prin evaluarea severității și clasificării defectelor, evaluarea calității sudurii ajută la identificarea defectelor critice care pot compromite integritatea îmbinării sudate și asigură implementarea măsurilor corective adecvate. Această evaluare joacă un rol crucial în menținerea integrității structurale, performanței și siguranței componentelor sudate în diverse industrii și aplicații.

ÎNCERCĂRI NEDISTRUCTIVE PENTRU EVALUAREA CALITĂȚII SUDURII

Evaluarea calității sudurii prin tehnici de testare nedistructivă (NDT) reprezintă un aspect crucial al asigurării integrității și fiabilității îmbinărilor sudate. Metodele NDT sunt folosite pentru a evalua calitatea sudurilor fără a provoca vreo deteriorare componentelor sudate, permițând inspectarea completă și evaluarea defectelor de sudură.

Mai multe tehnici NDT sunt frecvent utilizate în evaluarea calității sudurii, inclusiv:

Testare cu ultrasunete (UT): UT utilizează unde sonore de înaltă frecvență pentru a detecta și evalua defectele interne și de suprafață în îmbinările sudate. Undele ultrasonice sunt transmise în sudură, iar undele reflectate sunt analizate pentru a identifica indicații precum lipsa fuziunii, porozitatea, fisurile și alte discontinuități. Dimensiunea, locația și natura acestor indicații sunt evaluate pentru a determina impactul lor asupra calității sudurii.



Fig. 1.3.25: Testarea cu ultrasunete a sudurii [1.3.34]

Testare radiografică (RT): RT implică utilizarea razelor X sau a razelor gamma pentru a crea o imagine a sudurii și pentru a detecta defectele interne. Imaginile radiografice oferă o vedere detaliată a discontinuităților sudurii, inclusiv fisuri, porozitate și incluziuni. Dimensiunea, forma și densitatea acestor indicații sunt examinate pentru a evalua severitatea lor și impactul asupra calității sudurii.

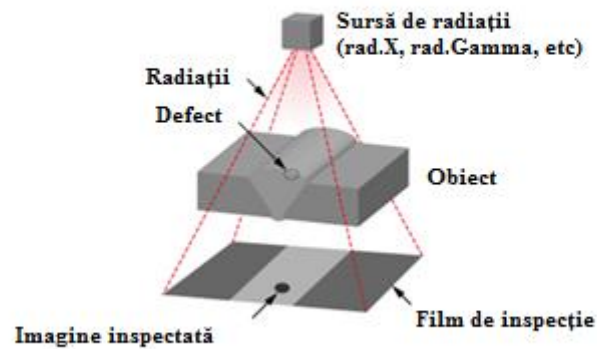


Fig. 1.3.26: Testare radiografică [1.3.35]

Testarea particulelor magnetice (MT): MT este folosită, în principal, pentru detectarea defectelor care ajung la suprafață în materiale feromagnetice. Implică magnetizarea zonei sudate și aplicarea de particule magnetice, care se vor aduna în zonele unde apare pierderea de flux magnetic cauzată de discontinuitățile de suprafață, cum ar fi fisuri și lipsa de fuziune. Indicațiile sunt examinate vizual pentru a determina severitatea lor și influența asupra calității sudurii.



Fig. 1.3.27: Testare magnetică [1.3.36]

Testarea cu lichid penetrant (PT): PT este folosită pentru detectarea defectelor care ajung la suprafață în materiale neporoase. Un penetrant lichid este aplicat pe suprafața sudurii, iar după un timp specific de așteptare, penetrantul în exces este îndepărtat și este aplicat un agent dezvoltator. Penetrantul care pătrunde în defectele de la suprafață devine vizibil în condiții de iluminare adecvate, permițând identificarea și evaluarea defectelor precum fisuri și porozitate.



Fig. 1.3.28: Testare cu lichide penetrante [1.3.37]

Inspecția vizuală (VI): Deși este considerată o metodă de inspecție separată, inspecția vizuală reprezintă o componentă esențială a evaluării calității sudurii. Implică o examinare vizuală detaliată a îmbinării sudate pentru a identifica defectele de la suprafață, cum ar fi fisuri, subcotare, stropire și lipsa de fuziune. Inspecția vizuală completează alte tehnici NDT și oferă o evaluare calitativă a sudurii.



Fig. 1.3.29: Inspecție vizuală [1.3.38]

În timpul testelor nedistructive (NDT) pentru evaluarea calității sudurii, indicațiile și defectele sunt evaluate în funcție de criteriile de acceptare predefinite furnizate de standarde relevante, cum ar fi EN ISO 17636 și EN ISO 9712.

Aceste standarde definesc dimensiunile, lungimile, locațiile și tipurile permise de indicații acceptabile în suduri. Rezultatele din NDT sunt înregistrate și documentate, permițând analize suplimentare și luarea deciziilor privind acceptarea sau respingerea sudurii. Tehnicile NDT oferă informații valoroase despre condițiile interne și de suprafață ale îmbinărilor sudate, permițând detectarea, evaluarea și caracterizarea defectelor de sudură. Prin utilizarea acestor tehnici, evaluarea calității sudurii poate identifica defecte critice, evalua severitatea acestora și determina acțiunile necesare pentru a menține integritatea și fiabilitatea sudurilor. Este important de menționat că tehnicile NDT ar trebui să fie efectuate de personal calificat care a primit pregătire și certificare adecvată în conformitate cu standardele relevante, cum ar fi EN ISO 9712. Acest lucru asigură precizia și fiabilitatea evaluării și îmbunătățește controlul calității generale a componentelor sudate în diverse industrii.

1.3.5. Reparațiile sudurii și examinarea post-sudare

Reparațiile sudurii sunt adesea necesare pentru a remedia defectele sau pentru a îmbunătăți integritatea unei îmbinări. Acest subcapitol se va concentra asupra rolului examinării macroscopice în evaluarea eficacității reparațiilor sudurii. Vom discuta despre tehnicile și procedurile utilizate pentru evaluarea îmbinării reparate, asigurându-ne că aceasta îndeplinește standardele și specificațiile necesare. În plus, vom explora importanța examinării post-sudare pentru a verifica integritatea și fiabilitatea îmbinării reparate.

Examinarea macroscopică este o tehnică fundamentală în tehnologia de sudurii care permite evaluarea cuprinzătoare a îmbinărilor sudate. Prin examinarea caracteristicilor macroscopice, identificarea defectelor, evaluarea calității sudurii și asigurarea eficacității reparațiilor, putem îmbunătăți performanța, siguranța și fiabilitatea structurilor și

componentelor sudate. Așadar, să explorăm lumea fascinantă a examinării macroscopice și a aplicării sale în tehnologia sudurii!

Specificațiile de examinare macroscopică în tehnologia de sudurii pot varia în funcție de industrie și aplicație. Cu toate acestea, există câteva specificații comune, cum ar fi:

1. Magnificare: Nivelul de magnificare utilizat în timpul examinării macroscopice ar trebui să fie adecvat pentru dimensiunea defectului examinat. În mod obișnuit, se utilizează o magnificare de 5x până la 10x pentru examinarea generală a sudurii, în timp ce o magnificare de până la 50x poate fi utilizată pentru o examinare mai detaliată. În plus, este important să se observe că magnificarea nu ar trebui să fie atât de mare încât câmpul vizual devine prea mic, făcând dificilă identificarea locației sau a dimensiunii defectului. Utilizarea magnificărilor mai mari poate crește, de asemenea, probabilitatea de rezultate pozitive incorecte, unde neregularitățile de la suprafață care nu sunt defecte sunt identificate ca atare. Prin urmare, nivelul adecvat de magnificare ar trebui să fie determinat pe baza dimensiunii și tipului de defecte examinate, precum și a finisării și texturii suprafeței materialului inspectat. Acest lucru poate contribui la asigurarea identificării precise a defectelor și la eficiența și eficacitatea procesului de inspecție.

2. Iluminare: Iluminarea adecvată ar trebui să fie folosită în timpul examinării macroscopice pentru a asigura vizibilitatea tuturor defectelor de la suprafață. Iluminarea ar trebui să fie îndreptată spre suprafața examinată sub un unghi care oferă vizibilitate optimă. Iluminarea utilizată în timpul examinării macroscopice ar trebui să fie suficient de luminoasă pentru a ilumina toate defectele de la suprafață și pentru a minimiza umbrele sau orbirea care ar putea să acopere vederea. De asemenea, direcția iluminării ar trebui să fie luată în considerare cu atenție pentru a se asigura că suprafața examinată este iluminată sub un unghi care oferă vizibilitate optimă. Acest lucru poate implica utilizarea mai multor surse de lumină sau ajustarea unghiului iluminării pentru a minimiza orbirea și umbrele.

În plus, ar trebui să se ia în considerare și temperatura de culoare a luminii. Diferitele tipuri de iluminat, cum ar fi cel fluorescent sau cu LED-uri, pot produce temperaturi de culoare diferite, care pot afecta aspectul defectelor de suprafață. Temperatura de culoare adecvată trebuie selectată în funcție de materialul inspectat și de tipul de defecte examinate.

În general, iluminarea adecvată este esențială pentru examinarea macroscopică pentru a se asigura că toate defectele de la suprafață sunt vizibile și identificate cu precizie. Iluminarea ar trebui să fie selecționată și poziționată cu atenție pentru a oferi o vizibilitate optimă și pentru a minimiza orice orbire sau umbră care ar putea să acopere vederea.

3. Pregătirea suprafeței: Suprafața examinată trebuie să fie curățată și pregătită conform standardelor industriale. Orice contaminanți de la suprafață, cum ar fi uleiul, grăsimea sau rugină, ar trebui îndepărtați pentru a asigura că toate defectele de la suprafață sunt vizibile. Prelevarea probelor.

Pentru îmbinările sudate, este necesar să se efectueze examinări asupra tuturor zonelor caracteristice (BM, HAZ, WELD), motiv pentru care probele metalografice cuprind întreaga secțiune transversală a îmbinării.



În funcție de nevoile cercetării, eșantionarea se face diferit. În special pentru analizele de daune, prelevarea de probe se efectuează având în vedere ipotezele de lucru care trebuie verificate, starea și natura materialului investigat. În multe cazuri, se examinează în paralel eșantioane de referință din zone neafectate sau din materiale similare care nu sunt supuse condițiilor de exploatare.

Când se verifică tehnologiile de sudare, materialele de bază și asimilarea materialelor de sudare, eșantionarea se face astfel încât să fie reprezentativă pentru întregul lot investigat. Nerespectarea acestei condiții duce la interpretări greșite cu consecințe grave.

Eșantionarea și pregătirea eșantioanelor metalografice se realizează conform STAS 4203.

Obținerea suprafeței plane se realizează prin șlefuire, frezare sau lustruire. Șlefuirea se efectuează cu ajutorul hârtiilor metalografice care prezintă o granulație în creștere a particulelor abrazive formate din carbura de siliciu. În funcție de granulația hârtiilor metalografice utilizate, șlefuirea poate fi:

- aspră când se utilizează hârtie metalografică cu granulație aspră (80, 100, 180, 240, 320);
- fină când se utilizează hârtie metalografică cu granulație fină (400, 500, 600, 800);
- foarte fină când se utilizează hârtii metalografice foarte fine (1000, 1200, 1500, 2000, 2500).

Șlefuirea poate fi efectuată manual sau mecanic. În șlefuirea manuală (recomandată pentru eșantioane mari, sudate), hârtia este plasată pe o placă de sticlă montată pe un suport din lemn. Eșantionul metalografic, fiind ușor presat, se mișcă întotdeauna într-o direcție, efectuând o mișcare de înainte și înapoi. La fiecare schimbare a hârtiei, este necesar să se rotească eșantionul cu 90° astfel încât noile cute să formeze un unghi drept cu cele precedente. Șlefuirea începe cu hârtie cu granulație aspră (300...400) și se încheie cu hârtie cu granulație fină (800...900) și extra-fină (1000).

În cazul șlefuirii mecanice se folosesc mașini de șlefuire orizontale sau verticale unde hârtia metalografică este fixată pe discuri rotative. În timpul operației de șlefuire, trebuie respectate următoarele reguli:

- să nu treceți la o altă hârtie metalografică până când nu s-a constatat că toate zgârieturile de la șlefuirea anterioară au dispărut;
- hârtia metalografică trebuie curățată de praf de metal sau abraziv de fiecare dată când este folosită (dacă se face șlefuire uscată);
- în timpul șlefuirii piesa nu trebuie să se încălzească;
- nu se vor folosi aceleași hârtii pentru aliaje feroase și neferoase;
- la sfârșitul operației de șlefuire, proba este spălată pentru a îndepărta toate incluziunile care s-au lipit în timpul șlefuirii.

Lustruirea probelor sudate se realizează mecanic cu ajutorul unei mașini de șlefuit echipată cu un disc rotativ pe care este fixată o pâslă de lână merinos. În timpul lustruirii, pe pâslă se depune o suspensie de oxid de Al, oxid de Mg și praf de diamant de diferite granulații. După lustruire, suprafața probei trebuie să aibă aspect de oglindă (fără rizuri). Proba lustruită se spală cu apă, se degresează cu alcool și apoi se usucă prin tamponare cu vată sau hârtie de filtru, se recomandă uscarea într-un jet de aer cald.

Atacul metalografic are ca scop evidențierea structurii cristaline. Suprafața lustruită este atacată cu reactivi adecvați care dizolvă sau colorează selectiv constituenții prezenți, făcându-i diferiți unul de altul. Atacul se realizează fie prin imersie, fie prin tamponarea suprafeței probei cu o bucată de bumbac înmuiată în reactivi. Dacă proba nu este suficient atacată, operația se repetă. În general, pentru a obține contrast puternic, se vor folosi reactivi cât mai diluați posibil, astfel încât atacul să se facă cu timp de menținere mai lung. De asemenea, pentru cercetările la o mărire mai mare a microscopului se va efectua un atac mai slab, pentru observarea în condiții mai bune a detaliilor structurii, și invers în cazul cercetărilor la o mărire mică. Practic, proba este considerată atacată atunci când suprafața pregătită și-a pierdut luciul metalic în toate zonele caracteristice, devenind mată și zonele putând fi observate. Un atac prea intens distorsionează structura.

După atacul metalografic, proba este spălată cu apă, apoi cu alcool și uscat prin presare pe hârtie de filtru sau sub jet de aer cald. Alegerea reactivului pentru atacul metalografic se face conform standardului SR CEN ISO/TR 16060.

4. Criterii de acceptare: Criteriile de acceptare pentru defectele de la suprafață ar trebui să fie definite în funcție de standardele din industrie și de cerințele aplicației. Criteriile ar trebui să precizeze tipul, dimensiunea și locația defectelor care sunt acceptabile și cele care nu sunt. Criteriile de acceptare pentru defectele de la suprafață ar trebui stabilite în conformitate cu standardele din industrie și cu cerințele aplicației. Aceasta implică specificarea tipului, dimensiunii și locației defectelor care sunt acceptabile și a celor care nu sunt. Criteriile de acceptare pot varia în funcție de materialul inspectat, intenția de utilizare a produsului și importanța îmbinării sudate în cadrul structurii generale.

De exemplu, în industria aerospațială, criteriile de acceptare pentru defectele de la suprafață în îmbinările sudate pot fi mult mai stricte decât în alte industrii datorită rolului critic pe care îl au componentele aerospațiale în garantarea siguranței. În acest caz, criteriile de acceptare pot specifica că orice defecte de la suprafață, indiferent de dimensiune sau locație, nu sunt acceptabile.

În mod similar, în industria auto, criteriile de acceptare pentru defectele de la suprafață pot fi mai puțin stricte, dar totuși necesită ca defectele să se încadreze în anumite limite de dimensiune și locație pentru a asigura că îmbinarea sudată îndeplinește standardele de rezistență și durabilitate cerute.

Stabilirea unor criterii clare de acceptare este importantă pentru a asigura că produsele sudate îndeplinesc standardele de calitate cerute și sunt sigure pentru utilizarea prevăzută. Acest lucru poate contribui la prevenirea defectelor și defecțiunilor, la reducerea riscului de accidente și la asigurarea faptului că produsele îndeplinesc așteptărilor clienților. Nivelele de

acceptare pentru imperfecțiunile în îmbinările sudate sunt conform SR EN ISO 5817. Clasificarea imperfecțiunilor geometrice în îmbinările sudate ale materialelor metalice se realizează conform SR EN ISO 6520-1.

5. Raportare: Un raport detaliat ar trebui furnizat și ar trebui să includă rezultatele examinării macroscopice, incluzând orice defecte găsite și locația acestora. Raportul ar trebui să conțină, de asemenea, recomandări pentru acțiuni corective, dacă este necesar. După efectuarea examinării macroscopice, ar trebui generat un raport detaliat care să includă rezultatele examinării, orice defecte găsite și locația acestora în îmbinarea sudată. Raportul ar trebui să includă, de asemenea, recomandări pentru acțiuni corective, dacă este necesar, în conformitate cu criteriile de acceptare și standardele din industrie.

Raportul ar trebui să fie clar și concis, furnizând un rezumat al rezultatelor inspecției, incluzând orice defecte constatate, dimensiunea acestora și locația. Ar trebui să includă, de asemenea, fotografii sau diagrame care ilustrează locația și amploarea oricăror defecte.

Dacă sunt identificate defecte care nu îndeplinesc criteriile de acceptare, raportul ar trebui să includă recomandări pentru acțiuni corective, cum ar fi repararea sau înlocuirea îmbinării sudate. Raportul ar trebui să ofere, de asemenea, un calendar clar pentru acțiunile corective și orice inspecții ulterioare necesare.

În general, un raport detaliat este esențial pentru documentarea rezultatelor inspecției, asigurarea identificării și abordării prompte și eficiente a oricăror defecte. Acest lucru poate contribui la îmbunătățirea calității și siguranței produselor sudate și asigurarea că acestea îndeplinesc standardele industriale și așteptările clienților.

IMPORTANȚA REPARAȚIEI SUDURII

Reparația sudurii joacă un rol semnificativ în menținerea integrității și funcționalității componentelor sudate. Atunci când sunt detectate defecte sau discontinuități în îmbinările sudate în timpul inspecției sau testării, repararea prin sudură devine necesară pentru a remedia problemele și a restabili calitatea și performanța dorită a sudurii. Importanța reparării sudurii poate fi evidențiată în următoarele aspecte:

Integritate structurală: sudurile sunt adesea componente critice în structuri, mașini și echipamente. Orice defecte sau imperfecțiuni în sudură pot compromite integritatea structurală, ducând la posibile defecțiuni sau accidente. Reparația prin sudură ajută la abordarea acestor probleme eliminând sau atenuând defectele, asigurându-se că îmbinarea sudată își recâștigă rezistența și capacitatea de încărcare inițială.

Performanță funcțională: Componentele sudate sunt supuse diferitelor condiții de funcționare, inclusiv solicitări mecanice, fluctuații de temperatură și medii corozive. Sudurile defecte pot împiedica funcționalitatea componentei, afectând performanța și fiabilitatea acesteia. Reparația prin sudură asigură că sudura îndeplinește specificațiile și standardele necesare, permițând componentei să-și îndeplinească în mod eficient funcția prevăzută.

Eficiență costuri: Reparația prin sudură este adesea o soluție mai eficientă din punct de vedere al costurilor în comparație cu înlocuirea întregilor componente sau structuri. Repararea unei suduri defecte elimină necesitatea unei reconfigurări sau înlocuiri complete, economisind

timp, resurse și bani. De asemenea, minimizează timpul de nefuncționare a producției și costurile asociate, făcând-o o alegere practică în multe situații.

Conformitate cu standarde și reglementări: Componentele sudate din diverse industrii sunt guvernate de standarde și reglementări specifice pentru a asigura siguranța, fiabilitatea și calitatea. Reparația prin sudură contribuie la aducerea îmbinărilor sudate în conformitate cu aceste standarde, asigurându-se că sudura reparată îndeplinește specificațiile necesare și este potrivită pentru aplicația sa prevăzută.

Considerații de Mediu: Repararea unei suduri defecte minimizează generarea de material de rebut și deșeuri, contribuind la practici durabile. Prin valorificarea și repararea componentelor sudate, se reduce nevoia de materii prime și procese de fabricație intensive din punct de vedere energetic, aducând beneficii mediului înconjurător.

Pentru a asigura eficacitatea și fiabilitatea reparării prin sudură, este crucial să se urmeze procedurile și orientările stabilite în standarde relevante, precum EN ISO 5817 și EN ISO 15614. Aceste standarde oferă specificații pentru tehnici de reparare prin sudură, materiale și cerințe de calificare, asigurându-se că sudura reparată îndeplinește criteriile necesare de calitate și performanță. În plus, repararea prin sudură ar trebui realizată de personal calificat cu expertiză în tehnici de sudură și proceduri de reparație. Este necesară efectuarea unei inspecții și teste adecvate după reparare pentru a verifica calitatea și integritatea sudurii reparate. Acest lucru asigură că sudura reparată îndeplinește standardele necesare și poate îndeplini în condiții de siguranță funcția sa prevăzută.

Importanța reparării prin sudură constă în capacitatea sa de a restabili integritatea, funcționalitatea și conformitatea componentelor sudate. Prin abordarea defectelor și a discontinuităților, repararea prin sudură asigură rezistența structurală, performanța funcțională și eficiența costurilor. Aceasta permite reutilizarea și conservarea componentelor, reduce deșeurile și contribuie la siguranța generală, fiabilitatea și sustenabilitatea în practicile de sudură.

EVALUAREA NECESITĂȚII REPARĂRII PRIN SUDURĂ

Evaluarea necesității reparării prin sudură este un pas esențial în menținerea calității și integrității componentelor sudate. Aceasta implică evaluarea gravității și impactul defectelor sau discontinuităților prezente în suduri și determinarea dacă repararea este necesară. În procesul de evaluare se iau în considerare următorii factori:

Rezultatele Inspecției: Îmbinările sudate sunt supuse diferitelor metode de inspecție, cum ar fi inspecția vizuală, testarea nedistructivă (NDT) și examinarea macroscopică, pentru a identifica orice defecte sau discontinuități. Rezultatele inspecției furnizează informații valoroase despre tipul, dimensiunea, locația și amploarea defectelor. Bazându-se pe aceste constatări, se poate evalua necesitatea de reparare.

Standarde și Coduri Aplicabile: Componentele sudate sunt supuse unor standarde și coduri specifice care definesc criteriile de acceptare pentru calitatea sudurii. Aceste standarde specifică dimensiunile și tipurile maxime permise pentru defecte. Prin compararea rezultatelor

inspecției cu standardele relevante, este posibil să se determine dacă defectele depășesc limitele acceptabile și necesită reparare.

Considerații Structurale și Funcționale: Se evaluează importanța îmbinării sudate în structura sau componenta generală. Dacă defectul sau discontinuitatea compromise integritatea structurală sau performanța funcțională, devine necesară repararea. Factori precum capacitatea de încărcare, concentrarea tensiunilor reziduale, durata de viață la oboseală și condițiile de utilizare sunt luate în considerare pentru a evalua impactul defectelor asupra performanței sudurii.

Siguranță și Conformitate Reglementară: Componentele sudate sunt adesea utilizate în aplicații critice din punct de vedere al siguranței, cum ar fi în industria aero-spațială, automotive și petrol și gaze. Evaluarea necesității de reparare implică luarea în considerare a implicărilor asupra siguranței generate de defecte. Sudurile care prezintă un pericol pentru siguranța personalului sau nu respectă reglementările din industrie trebuie reparate pentru a asigura conformitatea și a preveni potențialele pericole.

Considerații privind costurile și timpul: Costurile și timpul necesare pentru reparare sunt evaluate în raport cu importanța defectelor și valoarea componentei sudate. Se iau în considerare factori precum disponibilitatea resurselor de reparare, impactul reparării asupra programelor de producție și eficiența costurilor în comparație cu înlocuirea.

Bazându-se pe evaluare, se ia o decizie dacă să se procedeze cu repararea prin sudură. Dacă defectele sunt considerate semnificative și afectează integritatea sau performanța sudurii, de obicei, se recomandă repararea. Procesul de reparare implică pregătirea suprafeței sudurii, îndepărtarea porțiunii defecte, aplicarea tehnicilor de reparare potrivite (cum ar fi sudarea sau alte metode aprobate) și efectuarea inspecției și testării post-reparare pentru a verifica calitatea și integritatea sudurii reparate. Este important de menționat că evaluarea necesității de reparare prin sudură ar trebui efectuată de personal calificat cu expertiză în tehnologia de sudare și în standardele relevante. Aceștia ar trebui să aibă o înțelegere profundă a defectelor de sudură, a implicărilor acestora și a metodelor de reparare potrivite pentru a se asigura că sudura reparată îndeplinește criteriile necesare de calitate și performanță. Evaluarea necesității de reparare prin sudură implică evaluarea rezultatelor inspecției, luarea în considerare a standardelor și codurilor aplicabile, evaluarea considerațiilor structurale și funcționale, asigurarea conformității cu normele de siguranță și reglementările, și luarea în considerare a factorilor de cost și timp. Prin efectuarea unei evaluări cuprinzătoare, se pot lua decizii informate cu privire la necesitatea și adecvarea reparării prin sudură, asigurând astfel integritatea și performanța continue a componentelor sudate.

METODE ȘI TEHNICI PENTRU REPARAREA PRIN SUDURĂ

Atunci când se constată că o sudură necesită reparare din cauza defectelor sau discontinuităților, pot fi utilizate diverse metode și tehnici pentru a-i restabili integritatea și funcționalitatea. Alegerea metodei de reparare depinde de factori precum tipul și gravitatea defectelor, materialul care este sudat și cerințele specifice ale aplicației. Iată câteva metode și tehnici comune utilizate pentru repararea prin sudură:

Repararea prin Sudură: Sudura este cea mai comună metodă de reparare a defectelor de sudură. Aceasta implică adăugarea de metal de sudură suplimentar în zona defectă pentru a umple golurile, a corecta penetrarea insuficientă sau a sudării discontinuităților. Procesul de sudare utilizat pentru reparare depinde de factori precum materialul de bază, tipul defectului și echipamentul disponibil. Procesele comune de sudare includ sudarea cu arc electric acoperit (SMAW), sudarea cu arc electric cu wolfram inert (GTAW), sudarea cu arc electric în mediu protejat de gaz (GMAW) și sudarea cu arc electric cu sârmă fuzibilă (FCAW). Tehnicile și parametrii de sudare adecvați trebuie utilizați pentru a asigura reparări solide și de înaltă calitate.

Suprapunere prin Sudură (Weld Overlay): Suprapunerea prin sudură, cunoscută și sub denumirea de placare (cladding), este o tehnică în care un strat de metal de sudură este aplicat pe suprafața materialului de bază pentru a-i îmbunătăți proprietățile sau a-l proteja împotriva coroziunii. Este adesea utilizată pentru repararea sau îmbunătățirea suprafețelor uzate sau deteriorate. Suprapunerea prin sudură poate fi realizată cu ajutorul proceselor precum GTAW, GMAW sau sudarea cu arc transferat cu plasmă (PTA). Alegerea materialului de suprapunere depinde de factori precum proprietățile dorite, compatibilitatea cu materialul de bază și condițiile de mediu.

Reparare Mecanică: În unele cazuri, se utilizează metode mecanice pentru repararea prin sudură. Aceste metode implică îndepărtarea părții defecte a sudurii sau a întregii suduri și înlocuirea acesteia cu o nouă sudură sau cu o metodă de fixare mecanică. Tehnicile de reparare mecanică includ rectificarea, prelucrarea, frezarea sau forajul pentru a îndepărta sudura defectă și pentru a pregăti zona pentru resudare sau pentru asamblare mecanică. Reparările mecanice sunt adesea folosite pentru defecte minore sau atunci când sudarea nu este fezabilă sau practică.

Brazare și lipire: Pentru anumite tipuri de defecte sau materiale, pot fi folosite tehnici de brazare sau lutuire pentru reparare. Aceste procese implică topirea unui metal de adaos cu un punct de topire mai mic decât materialul de bază și utilizarea acțiunii capilare pentru a uni părțile. Brazarea și lipirea sunt folosite în mod obișnuit pentru reparații în metale neferoase, componente electrice și asamblări delicate.

Tratament Termic: În unele cazuri, tehnici de tratament termic sunt utilizate ca parte a procesului de reparare prin sudură. Tratamentul termic poate ajuta la eliminarea tensiunilor reziduale, îmbunătățirea proprietăților mecanice sau reducerea riscului de fisuri. Procese precum tratamentul termic post-sudură (PWHT) sau relaxarea tensiunilor pot fi aplicate după sudarea de reparare pentru a asigura obținerea proprietăților metalurgice și mecanice dorite.

Indiferent de metoda de reparare folosită, este crucial să se urmeze standardele industriale, specificațiile și cele mai bune practici. Personalul calificat cu expertiză în sudare și tehnici de reparare ar trebui să efectueze reparațiile pentru a asigura o execuție corectă. Inspecția și testarea post-reparare sunt, de asemenea, necesare pentru a verifica calitatea și integritatea sudurii reparate. Selecția metodei potrivite depinde de factori precum tipul și gravitatea defectelor, materialul de bază și cerințele aplicației. Este esențial să se urmeze procedurile și ghidurile stabilite pentru a asigura eficacitatea și fiabilitatea pe termen lung a sudurii reparate.

EVALUAREA EFICIENȚEI REPARAȚIILOR PRIN SUDURĂ

Evaluarea eficienței reparațiilor prin sudură este o etapă crucială în procesul de sudare pentru a asigura că sudura reparată îndeplinește standardele de calitate necesare și poate rezista condițiilor de utilizare prevăzute. Evaluarea implică analizarea diferitelor aspecte ale reparației, inclusiv integritatea structurală, proprietățile mecanice și precizia dimensională.

Principalele factori de luat în considerare în evaluarea eficacității reparațiilor prin sudură:

Inspecție Vizuală: Inspecția vizuală reprezintă primul pas în evaluarea eficacității unei reparații prin sudură. Zona reparată ar trebui examinată vizual pentru a se asigura că defectele au fost abordate în mod corespunzător și că profilul de sudură, armătura și aspectul general îndeplinesc cerințele specificate. Orice semn de pătrundere incompletă, fisuri, porozitate sau alte defecte ar trebui examinate cu atenție pentru a se asigura că au fost reparate corespunzător.

Testarea nedistructivă (NDT): Metodele de testare nedistructivă joacă un rol vital în evaluarea calității reparațiilor prin sudură. Tehnici precum testarea cu ultrasunete, testarea cu particule magnetice, testarea cu penetrare colorată, testarea radiografică sau testarea cu curent de turbionare pot fi utilizate pentru a detecta defecte sub suprafață, discontinuități sau alte imperfecțiuni ascunse care pot afecta integritatea sudurii reparate. NDT ajută la verificarea solidității și fiabilității reparației și asigură identificarea și abordarea oricăror defecte reziduale.

Testare Mecanică: Testarea mecanică este adesea efectuată pentru a evalua rezistența, duritatea, ductilitatea și alte proprietăți mecanice ale sudurii reparate. Testarea la tracțiune, testarea durtății, testarea la impact sau testarea la îndoire pot fi efectuate pentru a evalua performanța mecanică a sudurii și pentru a o compara cu cerințele specificate. Aceste teste furnizează date cantitative privind rezistența și integritatea sudurii, ajutând la determinarea dacă repararea a restabilit proprietățile mecanice ale sudurii la un nivel acceptabil.

Inspecția Dimensională: Inspecția dimensională este esențială pentru a se asigura că sudura reparată respectă dimensiunile specificate, inclusiv lungimea, lățimea, înălțimea și grosimea gătului. Instrumente de măsurare de precizie precum șublerul, micrometrul, jaloanele sau sistemele optice de măsurare pot fi folosite pentru a evalua precizia dimensională a reparației. Alinierea și îmbinarea dimensională corespunzătoare sunt cruciale pentru a asigura integritatea structurală și funcționalitatea sudurii reparate.

Documentarea Post-Reparare: Este important să se mențină o documentație cuprinzătoare a procesului de reparare prin sudură, inclusiv procedurile de reparare, rapoartele de inspecție, rezultatele testelor și orice altă informație relevantă. Această documentație servește ca referință pentru inspecții viitoare, audituri sau evaluări de calitate și furnizează un înregistrare a eficacității reparării și a conformității cu standardele și specificațiile aplicabile.

Conformitate cu Standardele și Specificațiile: Eficiența unei reparații prin sudură ar trebui evaluată în funcție de standardele industriale, codurile și specificațiile aplicabile. Aceste documente conturează criteriile de acceptare, cerințele de calitate și procedurile de inspecție care trebuie urmate. Sudura reparată ar trebui să îndeplinească sau să depășească standardele

specificate pentru a se asigura că este potrivită pentru serviciu și pentru a garanta fiabilitatea pe termen lung.

Prin efectuarea unei evaluări amănunțite care include inspecție vizuală, testare nedistructivă, testare mecanică, inspecție dimensională și conformitate cu standardele, eficacitatea reparațiilor prin sudură poate fi evaluată cu precizie. Această evaluare asigură că sudura reparată îndeplinește standardele necesare de calitate și oferă încredere în integritatea structurală și performanța sa în condițiile de operare.

EXAMINARE POST-SUDURĂ PENTRU VERIFICAREA CALITĂȚII

Examinarea post-sudură reprezintă o etapă critică în procesul de sudare și implică verificarea calității și integrității îmbinării sudate după finalizarea operațiunilor de sudare. Această examinare are ca scop asigurarea faptului că sudura îndeplinește standardele, specificațiile și criteriile de performanță necesare. Ajută la identificarea potențialelor defecte, discontinuități sau imperfecțiuni care ar putea să apară în timpul sudării și evaluează calitatea generală a sudurii.

Aspecte cheie ale examinării post-sudură pentru verificarea calității:

Inspecție Vizuală: Inspecția vizuală este cea mai fundamentală și frecvent utilizată metodă pentru examinarea post-sudură. Implică o examinare vizuală amănunțită a îmbinării sudate pentru identificarea oricăror defecte sau imperfecțiuni vizibile. Inspectorul evaluează sudura în ceea ce privește probleme precum fuziunea incompletă, lipsa penetrației, subcotarea, porozitatea, fisurile, stropii de metal topit sau orice altă iregularitate. Inspecția vizuală verifică, de asemenea, profilul general al sudurii, forma și aspectul, asigurându-se că acestea respectă cerințele specificate.

Testare Nedistructivă (NDT): Tehnicile de testare nedistructivă sunt folosite pentru a evalua integritatea internă și de suprafață a sudurii fără a provoca daune. Diverse metode NDT precum testarea ultrasonică, testarea radiografică, testarea cu particule magnetice, testarea cu penetrare lichidă sau testarea cu curent de turbionare pot fi utilizate pentru a detecta defecte sub suprafață, discontinuități sau alte imperfecțiuni ascunse. NDT contribuie la asigurarea faptului că sudura este lipsită de defecte interne, precum porozitatea, fisurile, lipsa fuziunii sau incluziunile, care ar putea compromite rezistența și performanța sa.

Testare Mecanică: Testarea mecanică este efectuată pentru a evalua proprietățile mecanice și rezistența îmbinării sudate. Teste de tracțiune, teste de duritate, teste de impact sau teste de îndoire pot fi efectuate pe eșantioane de test extrase din sudură pentru a evalua rezistența, ductilitatea, tenacitatea și alte caracteristici mecanice. Testarea mecanică furnizează date cantitative despre performanța sudurii, permițând compararea cu cerințele și standardele specificate.

Inspecție Dimensională: Inspecția dimensională verifică precizia dimensională și conformitatea sudurii cu cerințele specificate. Implică măsurarea dimensiunilor cheie ale sudurii, cum ar fi lungimea, lățimea, înălțimea și grosimea gâtului, folosind instrumente de măsurare de precizie. Inspecția dimensională asigură că sudura respectă dimensiunile necesare, toleranțele de potrivire și parametrii geometrici necesari pentru aplicația sa prevăzută.



Documentație și Păstrarea Înregistrărilor: Documentația corespunzătoare și păstrarea înregistrărilor sunt esențiale în examinarea post-sudură. Rapoarte detaliate de inspecție ar trebui să fie păstrate, inclusiv rezultatele testelor, calificările sudorilor, specificațiile procedurilor de sudare și orice alte documente relevante. Această documentație furnizează dovezi ale conformității, permite urmărirea și servește ca referință pentru inspecții viitoare, audituri sau evaluări ale calității.

Conformitatea cu standardele și specificațiile: Examinarea post-sudare trebuie efectuată în conformitate cu standardele, codurile și specificațiile aplicabile. Aceste documente definesc criteriile de acceptare, cerințele de calitate și procedurile de inspecție care trebuie urmate. Conformitatea cu standardelor asigură că sudura îndeplinește standardele de calitate necesare și oferă asigurări cu privire la performanța și fiabilitatea în exploatare.

Examinarea post-sudare joacă un rol vital în verificarea calității și integrității îmbinărilor sudate. Prin efectuarea unei inspecții vizuale detaliate, utilizarea tehnicilor adecvate de testare nedistructivă, efectuarea de teste mecanice și dimensionale și menținerea documentația corespunzătoare, calitatea sudurii poate fi verificată eficient. Acest proces de examinare asigură că sudura îndeplinește standardele necesare, îmbunătățește integritatea sa structurală și contribuie la succesul și fiabilitatea generală a componentei sau structurii sudate.

1.3.6. Metode pentru Testarea Mecanică a Materialelor Metalice

Testele mecanice se referă la toate determinările privind comportamentul materialelor metalice în condiții specific impuse mecanic, convențional stabilite. Testele mecanice variază în funcție de tipul de deformare macroscopică generată (tracțiune, compresiune, îndoire, torsiune, duritate, etc.), modul de aplicare a sarcinii (static, dinamic, variabil în magnitudine și direcție), temperatura la care se efectuează testul (cald, rece, la temperatura camerei), etc. Abordările cele mai comune implică teste statice de tracțiune, teste de duritate și teste dinamice de îndoire la impact.

a) Încercări statice de întindere

Aceste teste se efectuează pe probe sub formă de bare, sârme sau benzi cu dimensiuni standardizate. Cea mai utilizată formă și dimensiuni primare ale probei de tracțiune sunt prezentate în Figura 1.3.30.

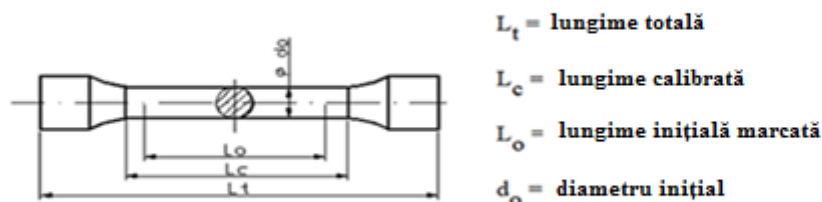


Fig. 1.3.30: Proba de încercare statică la tracțiune

Lungimea inițială L_0 și diametrul inițial d_0 sunt alese astfel încât raportul dimensional, notat cu $n = L_0/d_0$, să aibă valoarea fie $n = 5$, fie $n = 10$. Prelucrarea probelor este descrisă în STAS 7324 - 75, în timp ce forma, dimensiunile și condițiile pentru pregătirea probei sunt specificate în STAS 200 - 87.

Mașinile utilizate pentru încercările de tracțiune sunt echipate cu un înregistrator care trasează relația dintre forța axială F și alungirea Δl a probei. Figura 1.3.31 ilustrează o curbă de tracțiune-deformare pentru un oțel cu conținut scăzut de carbon.

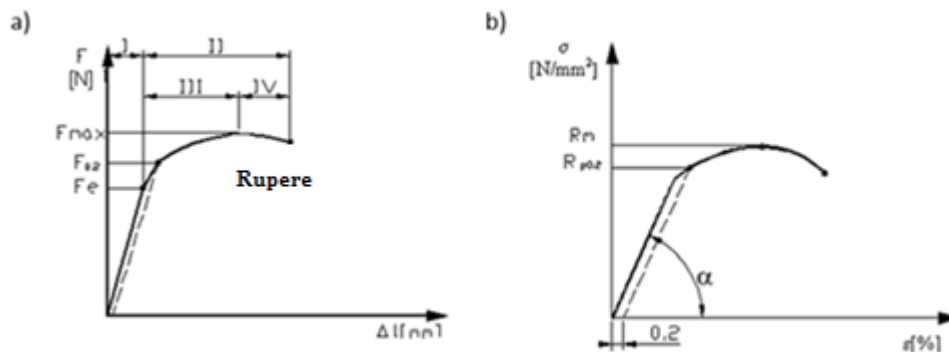


Fig. 1.3.31: a) Curba de tracțiune a unui oțel cu conținut scăzut de carbon; b) Curba de tracțiune convențională a unui oțel cu conținut scăzut de carbon.

Distingem:

- I - Domeniul deformării elastice.
- II - Domeniul deformării plastice.
- III - Deformare uniformă.
- IV - Deformare neuniformă (gât).

În domeniul I are loc deformarea elastică a materialului, urmând legea lui Hooke: $\epsilon = \sigma/E$.

Curba de tracțiune convențională (Figura 1.3.32) reprezintă relația dintre tensiunile σ , definit ca raportul dintre forță și aria secțiunii transversale ($\sigma = F/A$ [N/mm²]) și alungirea relativă ϵ , definită ca raportul dintre alungirea probei Δl și lungimea sa inițială L_0 .

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Din această curbă se pot determina următoarele caracteristici:

- Rezistența la tracțiune, R_m , definită ca raportul dintre sarcina maximă și aria secțiunii transversale inițiale a probei:



$$R_m = \frac{F_{\max}}{S_0} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

- Limita de curgere convențională, $R_{p0,2}$, obținută ca raport dintre sarcina care produce o deformare plastică de 0,2% și aria secțiunii transversale inițiale a probei:

$$R_{p0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

- Modulul elastic longitudinal, E , reprezentând panta porțiunii liniare a curbei de tracțiune convenționale: $\text{ctg}E = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon$;
- Alungirea la rupere, A_n , definită ca raportul dintre alungirea probei și lungimea sa inițială:

$$A_n = \frac{L_f - L_0}{L_0} \cdot 100[\%]$$

unde L_f este lungimea probei după rupură și n este factorul dimensional.

- Gâtuirea la rupere, Z , exprimat ca diferența dintre ariile secțiunii transversale inițiale și finale ale probei în raport cu aria secțiunii transversale inițiale:

$$Z = \frac{S_0 - S_f}{S_0} \cdot 100[\%]$$

unde S_0 este aria secțiunii transversale inițiale a probei și S_f este aria secțiunii transversale finale din zona de rupere.

b) Încercări de duritate

Duritatea este definită ca proprietatea unui material de a rezista deformării plastice cauzate de sarcinile de contact statice sau dinamice localizate pe suprafața sa. Este una dintre cele mai utilizate proprietăți mecanice pentru caracterizarea materialelor metalice și depinde de compoziția chimică și de starea structurală a materialului.

Există mai multe metode pentru determinarea durității pe baza dimensiunii amprentei produse de un penetrator presat cu o forță specifică pe suprafața materialului. Alegerea celei mai potrivite metode de testare a durității ține cont de următoarele aspecte:

- Natura materialului testat.
- Precizia testului.
- Dimensiunile probei.



- Eficiența în raport cu costurile determinării.

Metoda Brinell implică impactul între suprafața materialului și o bilă de oțel de diametru D , perpendicular pe suprafață, așa cum se arată în schema din Figura 1.3.32.

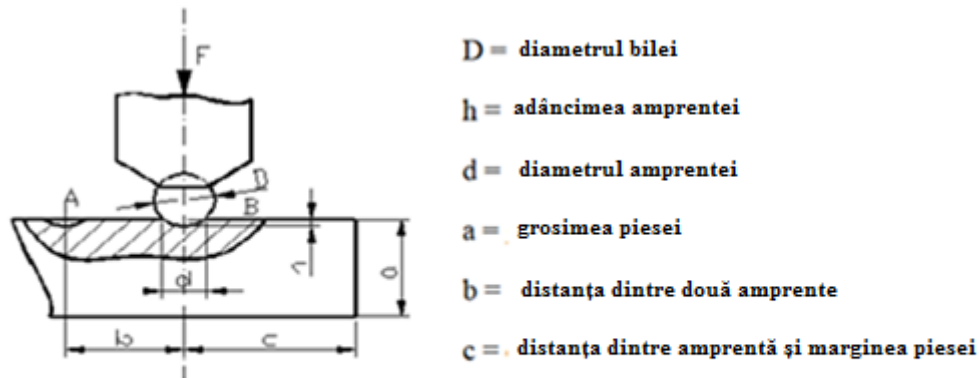


Fig. 1.3.32: Determinarea durității Brinell

Duritatea este exprimată prin raportul dintre forța aplicată F și aria suprafeței sferice S a amprentei lăsată de penetrator pe suprafața testată:

$$HB = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [daN/mm}^2\text{]}$$

Durata încărcăturii, distanța minimă dintre două urme (b) și distanța dintre urmă și marginea probei (c) depind de duritatea materialului.

Grosimea minimă a probelor supuse testului (a) trebuie să fie de 8 ori adâncimea amprentei pentru a evita influența suportului aparatului asupra durității.

În practică, valoarea durității este obținută din tabele bazate pe diametrul amprentei, pentru o forță de încărcare și un diametru al bilei specifice.

Această metodă este folosită pentru aliaje moi (metale neferoase și oțeluri recoapte).

Duritatea este indicată de valoarea măsurată urmată de simbolul HB și de un grup de trei cifre care indică diametrul bilei în mm, forța de încărcare în N și durata în secunde.

Exemplu: 270HB5/700/5

Metoda Rockwell permite evaluarea durității prin adâncimea amprentei reziduale a penetratorului. Penetratorul poate fi un con de diamant cu un unghi de vârf de 120° sau o bilă de oțel tratat termic.

Această metodă se aplică atât materialelor dure și foarte dure (oțel tratat termic, fontă albă), cât și materialelor moi. Testarea cu un con de diamant (HRC) sau o bilă (HRB) se face conform schemei din Figura 1.3.33, penetratorul fiind inițial presat pe suprafața de măsurare cu o forță inițială F_0 . Dispozitivul de măsurare a adâncimii este setat la zero și apoi se aplică forța F_1 . După un interval de 15, 30 sau 60 de secunde, supra forța F_1 este înlăturată, iar duritatea HRC este determinată prin scăderea adâncimii efective de penetrare e din mărimea unității Rockwell a constantei convenționale E.

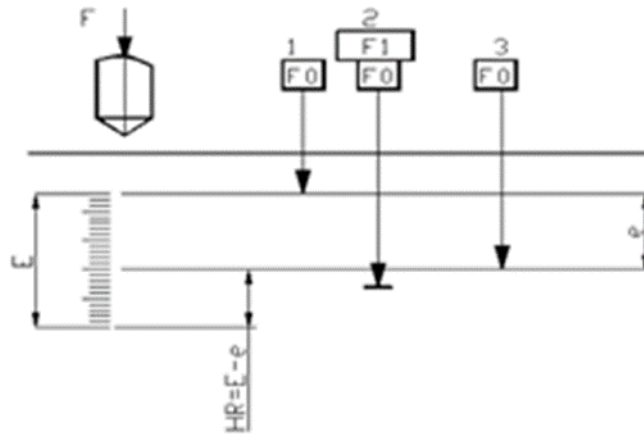


Fig. 1.3.33: Determinarea durității Rockwell

Notarea durității folosind această metodă se face folosind simbolul HRC (sau HRB) urmat de valoarea durității.

Exemplu: 45 HRC

Metoda Vickers (Figura 1.3.34) este similară, ca principiu, cu metoda Brinell implicând aplicarea unui penetrator cu forma unei piramide drepte cu bază pătrată și un unghi de vertex de 136° pe suprafața de testare. Duritatea Vickers este notată cu HV și este determinată ca raportul dintre forța aplicată F și aria laterală a amprentei lăsată de penetrator. În practică, aria este determinată pe baza valorii medii a diagonalei urmei, conform formulei:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \text{ [daN/mm}^2\text{]}$$

Această metodă este aplicabilă atât pentru materiale moi, cât și celor dure. Poate fi folosit și pentru măsurarea micro durității prin cuplarea unui aparat de testare cu un microscop optic metalografic. În acest fel, se poate determina duritatea constituenților structurali și a structurilor foarte fine. În acest caz, duritatea HV este determinată folosind formula:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{(d+1,5)^2}$$

Unde d este diagonala urmei, iar 0,25 este un factor de corecție.

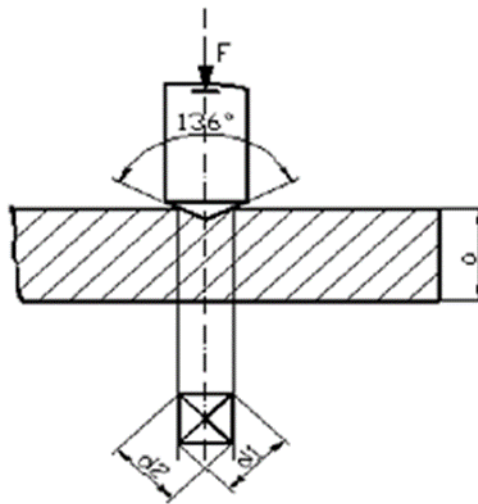


Fig. 1.3.34: Determinarea durtății Vickers

Notarea durtății se face folosind simbolul HV, urmat de valoarea durtății și urmat de un indicator care reprezintă sarcina în daN (dacă diferă de 30 daN), urmat de durata de reținere a sarcinii în secunde (dacă diferă de 10...15s).

c) Test de încovoiere la impact (test de reziliență)

Acesta reprezintă o metodă de evaluare a rezistenței la șoc a materialelor.

Rezistența la șoc reprezintă capacitatea materialului de a rezista propagării bruște a fisurilor.

Aparatul cel mai utilizat este ciocanul pendul Charpy, echipat cu o greutate G care oscilează în jurul centrului O (Figura 1.3.35).

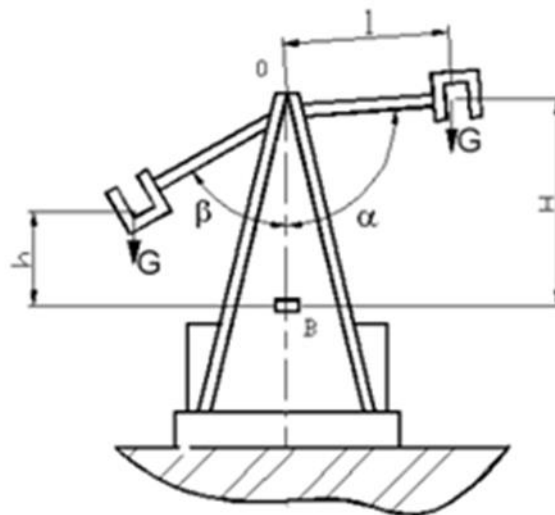


Fig. 1.3.35: Ciocan pendul Charpy.

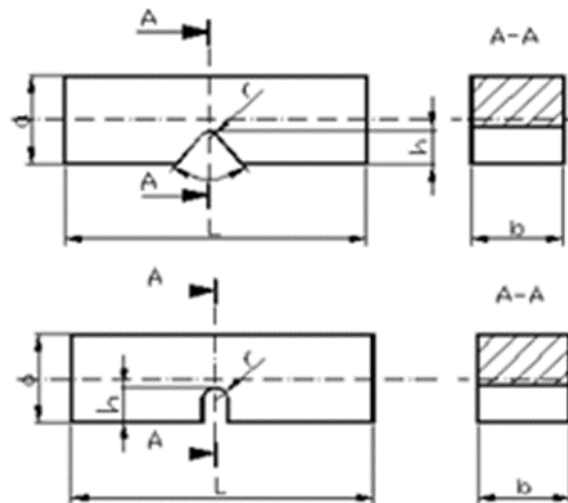


Fig. 1.3.36: Exemplare pentru încercarea la încovoiere la impact

Probele utilizate sunt de obicei prismatice, cu dimensiuni de 10 x 10 x 55 mm și o creștătură în „U” sau „V” (Figura 1.3.36).

Pentru a sparge proba așezată pe două suporturi pe cadru, ciocanul cade de la înălțimea H stabilită inițial, iar după ce proba se rupe, ciocanul este ridicat la înălțimea h.

Energia consumată pentru spargerea probei este dată de ecuația:

$$W = W_0 - W_f = G \cdot (H - h)$$

Unde:

W_0 = energia potențială a ciocanului în poziția inițială.

W_f = energia potențială în poziția finală.

În practică, aparatul permite determinarea unghiului α pe care tija ciocanului de lungime l îl face cu verticala când se află în poziția inițială și unghiul β pe care tija ciocanului îl face cu verticala după ce proba s-a rupt. Exprimând înălțimile H și h în funcție de unghiuri α și β și lungime l , energia consumată în procesul de rupere a probei poate fi scrisă astfel:

$$W = G \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha) \text{ [J]}$$

În cazul testării probelor cu o creștătură în „U”, reziliența este definită ca raportul dintre energia consumată pentru a rupe proba și aria secțiunii transversale de la creștătură. Este simbolizat ca KCU și este exprimat în J/cm^2 . Astfel, notația KCU 150/2/5 = $100 \text{ J}/\text{cm}^2$ semnifică o valoare a rezilienței de $100 \text{ J}/\text{cm}^2$, determinată cu un ciocan pendular având o energie potențială $W_0 = 150 \text{ J}$, pe probe crestate în „U” cu o adâncime de $h = 2 \text{ mm}$ și lățimea de $b = 5 \text{ mm}$.

În testul cu probe crestate în „V”, reziliența reprezintă energia consumată pentru rupere. În acest caz, simbolul este KV și este exprimat în J. Notația KV 300/5 = 70 J reprezintă valoarea

energiei de rupere (70 J) determinată cu un ciocan având energie potențială $W_0 = 300 \text{ J}$ pe o probă crestată în „V” cu o lățime de $b = 5 \text{ mm}$.

Testarea rezilienței este mai reprezentativă atunci când se efectuează la temperaturi diferite pentru a determina temperatura de tranziție de la rupere ductilă la rupere fragilă, deoarece materialele se comportă diferit la diverse temperaturi de lucru.

Se poate observa că energia absorbită în timpul ruperii scade odată cu scăderea temperaturii (Figura 1.3.37).

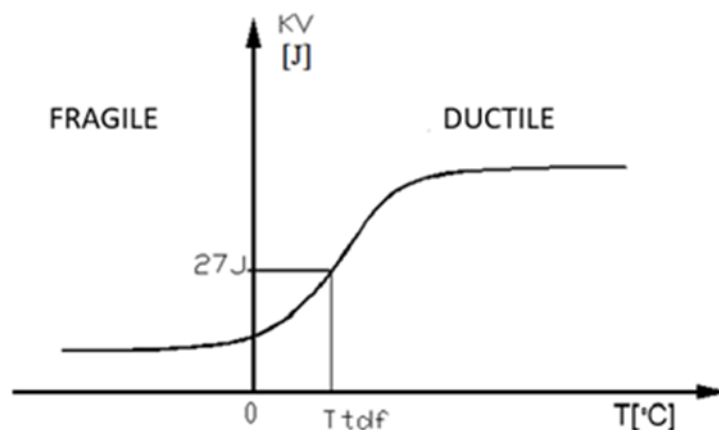


Fig. 1.3.37: Variația rezilienței în funcție de temperatură

În general, se estimează că temperatura la care are loc tranziția de la rupere ductilă la rupere fragilă (TDBT) este temperatura la care valoarea energiei de rupere este $KV = 27 \text{ J}$. Pe probele de reziliență, ductilitatea materialului poate fi evaluată prin proporția dintre suprafața cristalină și suprafața totală de rupere

CONCLUZII

În concluzie, examinarea macroscopică reprezintă un instrument indispensabil în domeniul tehnologiei de sudare. Aceasta oferă informații valoroase despre caracteristicile, defectele și calitatea îmbinărilor sudate, permițând o evaluare și analiză eficientă. Pe parcursul acestui curs online, am explorat diverse aspecte ale examinării macroscopice, inclusiv definiția sa, scopul, avantajele și limitele acesteia.

Am aflat că examinarea macroscopică servește ca metodă fundamentală pentru evaluarea calității sudurii, identificarea defectelor și asigurarea integrității îmbinărilor sudate. Aceasta permite inspecția vizuală a probelor de sudură, dimensiunilor și neregularităților suprafeței, furnizând informații esențiale despre configurația îmbinării, penetrare, rezistența și aspectul general. Analizând caracteristicile macroscopice, cum ar fi dimensiunea sudurii, forma și rezistența, putem obține informații valoroase despre procesul de sudare și integritatea îmbinării.

În plus, examinarea macroscopică completează alte tehnici de inspecție, inclusiv testarea nedistructivă și examinarea microscopică. Ajută la detectarea și caracterizarea defectelor cum ar fi porozitatea, fisurile, lipsa fuziunii și pătrunderea incompletă. Prin combinarea inspecției

vizuale cu alte metode de testare, putem obține o înțelegere detaliată a calității și performanței sudurii.

Pe parcursul acestui curs, am subliniat importanța respectării standardelor și specificațiile stabilite. Standardele europene oferă directive clare pentru examinarea macroscopică și evaluarea calității sudurii, asigurând coerența și fiabilitatea în procesul de inspecție. Aceste standarde descriu criteriile de acceptare, clasificările defectelor și metodele de evaluare, permițând controlul eficient al calității și verificarea.

În plus, am explorat importanța examinării post-sudare, inclusiv reparația sudurilor și a verificării post-reparație. Examinarea post-sudură permite evaluarea eficacității procedurilor de reparație, asigurându-se că îmbinarea reparată îndeplinește standardele și specificațiile necesare.

În ansamblu, examinarea macroscopică joacă un rol crucial în controlul calității sudurii, identificarea defectelor și asigurarea fiabilității îmbinărilor sudate. Aceasta ne permite să luăm decizii clare cu privire la acceptarea sau respingerea sudurilor, să evaluăm performanța și integritatea îmbinărilor și să implementăm măsuri corective adecvate. Prin înțelegerea principiilor și tehnicilor de examinare macroscopică, putem îmbunătăți calitatea, siguranța și durabilitatea structurilor și componentelor sudate.

Ca profesioniști în domeniul metalografiei și al tehnologiei de sudare, este esențial să ne îmbunătățim în mod continuu cunoștințele și abilitățile în examinarea macroscopică. Acest curs v-a furnizat o bază solidă pentru înțelegerea semnificației, metodologiilor și aplicațiilor examinării macroscopice. Prin aplicarea cunoștințelor dobândite în acest curs, putem contribui la progresul tehnologiei de sudare, la promovarea asigurării calității și implementarea cu succes a structurilor sudate în diverse industrii.

REFERINȚE

[1.3.1] EN ISO 5817:2014 – Sudare – Îmbinări sudate prin fuziune din otel, nichel, titan și aliajele acestora(exclusa sudarea prin grinzi)

[1.3.2] EN ISO 17637:2011 – Testarea nedistructivă a sudurilor – Testarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire

[1.3.3] EN 970:1997 – Examinare nedistructivă a sudurilor prin topire

[1.3.4] EN 1290:1997 – Testarea nedistructivă a sudurilor – Testarea cu particulelor magnetice a sudurilor

[1.3.5] GAMMON, Luther M., et al. Metalografia și microstructurile titanului și aliajelor sale. ASM handbook, 2004, 9: 899-917.

[1.3.6] ZIPPERIAN, Donald C. Manual metalografic. Chief Technical Officer PACE Technologies: Tucson, AR, USA, 2011.

[1.3.7] Hadzihafizovic, Dzevad. Imperfecțiuni de sudare și materiale Proceduri și tehnici de inspecție a materialelor, 2023.

[1.3.8] PINTO-LOPERA, Jesús Emilio; ST MOTTA, José Mauricio; ABSI ALFARO, Sadek Crisostomo. Măsurarea în timp real a lățimii și înălțimii cordoanelor de sudură în procesele GMAW, 2016, 16.9: 1500.

[1.3.9] EN ISO 17636-2:2013- Testarea nedistructivă a sudurilor-Testarea radiografică – Part 2

[1.3.10] EN ISO 17636-3:2013 - Testarea nedistructivă a sudurilor-Testarea radiografică – Part 3

[1.3.11] EN ISO 16810:2004 – Testare nedistructivă – Testare cu ultrasunete - Tehnica de difracție a timpului de propagare ca metodă de detectare și dimensionare a discontinuităților

[1.3.12] EN ISO 23278 - Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea cu pulberi magnetice a sudurilor

[1.3.13] EN ISO 3452- Examinări nedistructive ale sudurilor. Examinarea cu lichide penetrante a sudurilor

[1.3.14] EN ISO 10042 -Sudare - Îmbinări de aluminiu și aliaje de aluminiu sudate cu arc electric. Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni

[1.3.15] EN ISO 15614-1- Specificarea și calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice. Testarea procedurii de sudare – Partea 1

[1.3.16] EN ISO 14731 – Coordonarea sudurii - Sarcini și responsabilități

[1.3.17] EN ISO 3834 - Cerințe de calitate pentru sudarea prin topire a materialelor metalice

[1.3.18] EN ISO 17637 – Testarea nedistructivă a sudurilor – Testarea vizuală a îmbinărilor sudate prin topire

[1.3.19] EN ISO 5817– Sudare – Îmbinări sudate prin topirea materialelor din oțel, nichel, titan și aliajele acestora(Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni)

[1.3.20] EN ISO 13920:- Sudare. Toleranțe generale pentru construcții sudate. Dimensiuni pentru lungimi și unghiuri- Forme și poziții

[1.3.21] EN 1290:-Sudare - Determinarea numărului de ferită (FN) în metalele de sudură din oțel inoxidabil Cr-Ni austenitic și duplex feritic-austenitic

[1.3.22] EN ISO 17635:-Testare nedistructiva a sudurilor-Reguli generale pentru materialele metalice

[1.3.23] EN ISO 10275: -Sudare - Pregătirea îmbinărilor - Partea 3: Sudarea cu gaz inert metalic și sudarea cu gaz inert tungsten a cuprului și aliajelor acestuia

[1.3.24] EN ISO 10042:-Sudare-Îmbinări sudate cu arc electric pentru aluminiu și aliajele acestuia - Niveluri de calitate pentru imperfecțiuni

[1.3.25] BODEA, Marius. Sudare și procedee conexe. UT Press, 2016.

[1.3.26] Informații : <https://amarineblog.com/2019/09/05/groove-design-bevel-preparation/>

[1.3.27] Informații : <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/porosity.html>

[1.3.28] Informații : <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/lack-of-fusion.html>

[1.3.29] Informații: <https://www.slideserve.com/anne-lott/visual-guide-to-weld-defects-discontinuities>

[1.3.30] Informații: <https://in.pinterest.com/pin/types-of-welding-defects-causes-and-remedies-in-2023—838795499369764806;>

[1.3.31] Informații: <https://www.boconline.co.uk/en/processes/welding/welding-defects/distortion.html>

[1.3.32] Sudarea cu arc pulsat aplicată îmbinării robotizate a tablelor subțiri de oțel pentru caroserie

- Figura științifică pe ResearchGate. Disponibil de la: https://www.researchgate.net/figure/Imperfections-found-during-visual-inspections-local-spatters-a-b-uneven_fig4_271390435

[1.3.33] Information on: https://www.linkedin.com/pulse/csa-w59-18-weld-quality-acceptance-criteria-karsten-madsen?utm_source=share&utm_medium=guest_desktop&utm_campaign=copy

[1.3.34] Information on: <https://www.triquestndt.com/conventional/ultrasonic-testing>

[1.3.35] Information on: <https://www.matsusada.com/column/words-ndt.html>

[1.3.36] Information on: <https://wdbgroup.co.uk/blog/what-is-magnetic-particle-inspection-all-you-need-to-know/>

[1.3.37] Information on: <https://encorus.com/2020/07/17/liquid-penetrant-testing/>

[1.3.38] Information on: <https://resources.arcmachines.com/how-to-do-a-pipe-welding-visual-inspection-ami/>

1.4 Examinarea microscopică și aplicarea acesteia în tehnologia sudării

Microscopul optic (luminos) rămâne cel mai important instrument pentru studiul microstructurii, în ciuda evoluției instrumentelor metalografice electronice sofisticate. Microscopia electronică cu scanare (SEM) și microscopia electronică cu transmisie (TEM) sunt, de asemenea, instrumente valoroase; totuși, toate examinările microstructurii ar trebui să înceapă cu utilizarea unui microscop optic, începând cu o mărire scăzută, cum ar fi 25x, urmată de mărimi progresive pentru a evalua în mod eficient caracteristicile de bază ale microstructurii.

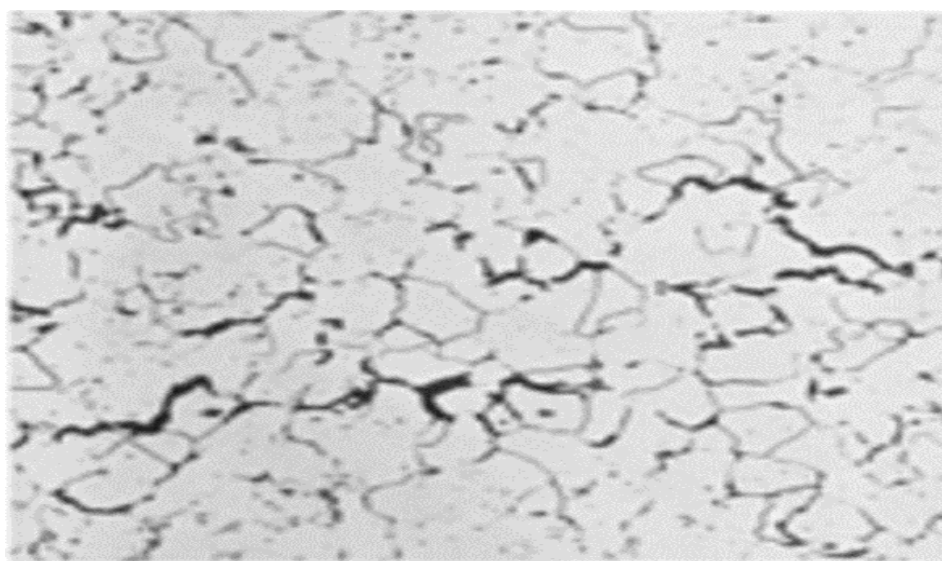
Majoritatea microstructurilor pot fi observate cu microscopul optic și identificate pe baza caracteristicilor lor. Identificarea constituenților îndoielnici sau necunoscuți poate fi facilitată prin observarea durității acestora în raport cu structura lor, prin culoarea lor naturală, prin

răspunsul lor la lumina polarizată și prin răspunsul lor la agenți de gravură selectivă. Aceste observații sunt comparate cu detaliile cunoscute despre metalurgia fizică a materialului examinat. În cazul în care încă mai există îndoieli sau dacă structura este prea fină pentru a fi observată, trebuie puse în aplicare tehnici mai sofisticate, utilizate împreună cu microscopia optică, și nu ca substitut.

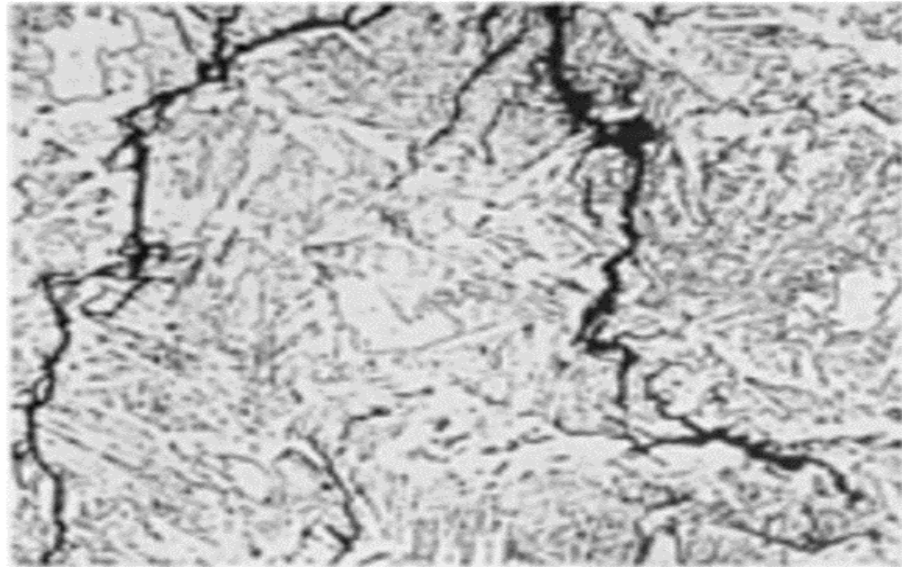
Microscopul electronic cu scanare este unul dintre cele mai versatile instrumente pentru investigarea microstructurii materialelor metalice. În comparație cu microscopul optic (luminos), acesta extinde domeniul de rezoluție cu mai mult de un ordin de mărime la aproximativ 10 nm (100) în instrumentele obișnuite, cu valori finale sub 3 nm (30). Mărirea utilă se extinde astfel dincolo de 10.000x până la 150.000x, reducând decalajul dintre microscopul optic și cel electronic de transmisie. În comparație cu microscopia optică, adâncimea de focalizare, variază de la 1 m la 10.000x până la 2 mm (0,08 in.) la 10x, este mai mare cu mai mult de două ordine de mărime, datorită deschiderii foarte mici a fasciculului.

Microscopia electronică cu scanare (SEM) oferă posibilități de formare a imaginilor care sunt în general ușor de interpretat și vor dezvălui imagini clare ale secțiunilor transversale, atât ale suprafețelor lustruite și atacate metalografic, precum și ale suprafețelor aspre. Analiza cu raze X cu dispersie energetică, utilizând echipamente atașate în mod obișnuit la microscopul electronic cu scanare oferă o analiză semicantitativă și, în cazuri favorabile, cantitativă a compoziției dintr-un volum mic cu rezoluție laterală bună. SEM a găsit o gamă largă de aplicații în cercetarea materialelor, dezvoltarea materialelor, analiza defectiunilor și controlul calității.

Folosind examinarea microscopică, pot fi observate și analizate diferite aspecte ale unei suduri. Aspecte precum imperfecțiunile sau defecte (Fig. 1.4.1.), microstructuri (Fig. 1.4.2.) și regimul termic al procesului de sudare.



A



B

Fig. 1.4.1.

A.

Fisuri în metalul de sudură în ASTM A285, grad C, placă de oțel. Fisurile, rezultate din fragilizarea caustică, sunt transgranulare și intergranulare. Atac: Nital. 275x. B. Fisuri, în plăci de oțel ASTM A285 de grad C care au fost în funcțiune un an la 480°C într-un vas de rafinărie, cauzate de pătrunderea hidrogenului. Ferită cu doar câteva particule de carbură - rezultat al decarburării hidrogenului în funcțiune. Nital. 275x

(Sursa: Manualul ASM Volumul 9. Metalografie și Microstructuri)

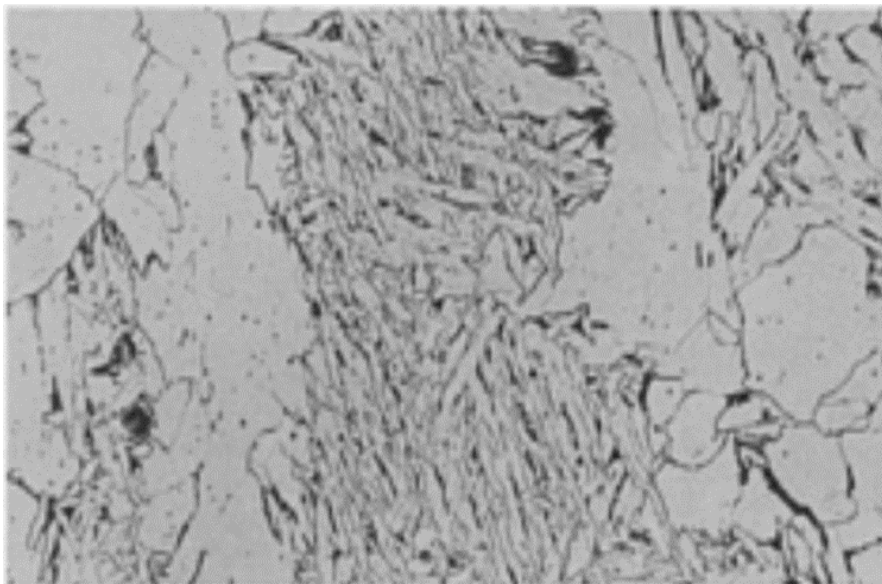


Fig. 1.4.2. Placă de oțel A-36 de 16 mm, sudură cap la cap cu un arc metalic ecranat cu treceri multiple. Aport de căldură: 1,3 kJ/mm. Sârmă de sudură: AWS E7018. Microstructura zonei de fuziune care conține bainită și agregat de ferită-carbură în ferită de limită de granule grosiere. 2% nital. 500× (Sursa: Manualul ASM Volumul 9. Metalografie și Microstructuri)

1.4.1. Fazele de echilibru

Faza reprezintă o parte omogenă a unui sistem care are aceeași compoziție chimică și aceeași stare de agregare în întregul său volum, fiind separată de alte părți ale sistemului prin interfețe de fază, cum ar fi de exemplu marginile de granulă. Structura fazei depinde de forma, dimensiunea și aranjarea reciprocă a atomilor.

Constituenții microstructurali pot fi constituiți din două sau mai multe faze care se separă simultan din lichid la cea mai scăzută temperatură de solidificare a sistemului (transformare eutectică) sau care apar ca rezultat al transformărilor de fază în stare solidă (transformare eutectoidă). Acestea sunt identificate utilizând microscopia optică sau electronică și pot să conțină: metal pur, soluție solidă, compus definit sau amestec mecanic.

În timpul proceselor de încălzire sau răcire, sau atunci când se schimbă starea de agregare de la lichid la solid, aliajele metalice suferă transformări de fază în stare solidă. Principalele tipuri de transformări sunt: transformări omogene, care au loc simultan în întregul volum al piesei, fără procese de germinare și creștere, și transformări eterogene, care au loc prin germinare și creștere (cu difuzie, fără difuzie).

Principalele faze de echilibru care se regăsesc în oțelurile nealiate sau slab aliate sunt: **ferita, perlita și cementita.**

Ferita alfa este forma stabilă a fierului la temperatura camerei. Este moale și feromagnetică la temperaturi sub 727 °C și paramagnetică între 727 și 912 °C. Ferita alfa este o componentă semnificativă a oțelului moale, dar este prezentă în toți compușii de fier carbon care au fost răciți la temperatura camerei, coexistând cu alte forme, cum ar fi cementita.

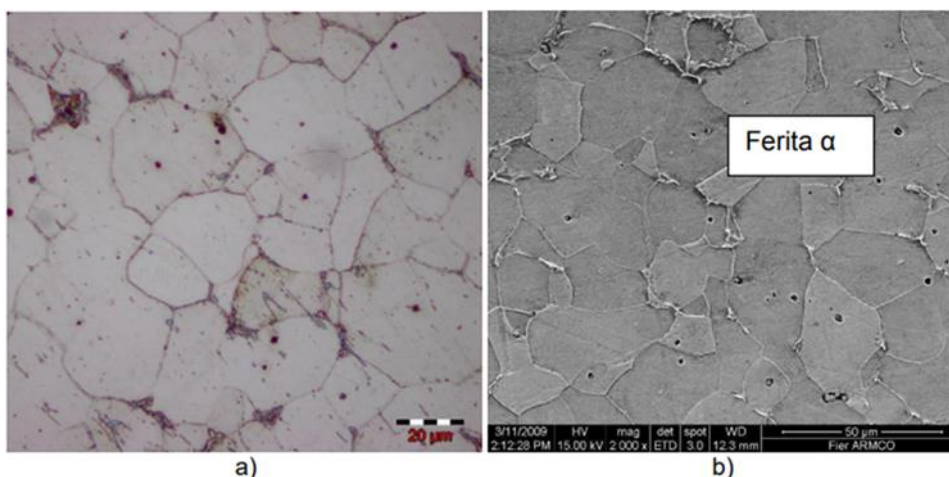


Fig. 1.4.4. FERITA ALFA: a) Microscopie optică(200x); b) SEM(2000x).

Austenita, cunoscută și sub numele de fier în faza gamma (γ -Fe), este un alotrop metalic, non-magnetic al fierului sau o soluție solidă a fierului cu un element de aliere. În oțelul cu



carbon simplu, austenita există peste temperatura critică a eutectoidei de 727 °C. Ea poate exista la temperatura camerei în unele oțeluri inoxidabile datorită prezenței nichelului care stabilizează austenita la temperaturi mai scăzute.

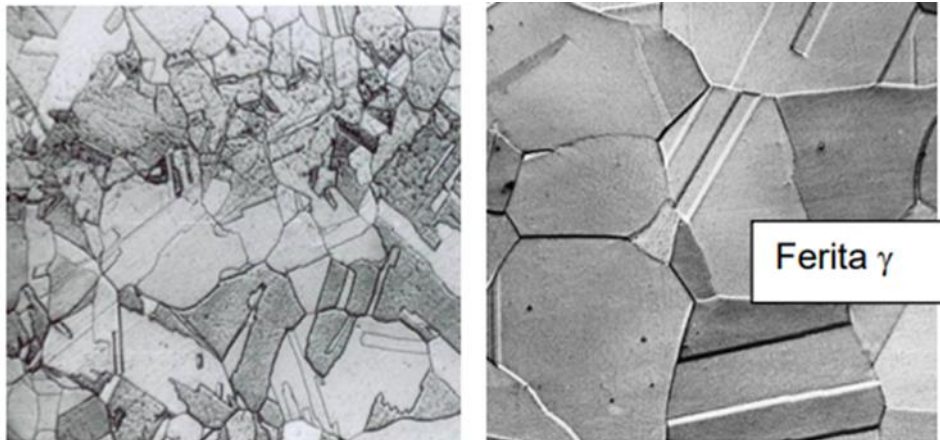


Fig. 1.4.5. AUSTENITĂ

Ferita Delta este o fază prezentă doar la temperaturi foarte ridicate, aproape de punctul de topire; devine stabilă atunci când este aliată cu stabilizatori de ferită precum: Cr, Mo, Si, Nb. Astfel, ferita delta se formează în timpul fazei de răcire a fabricării oțelului inoxidabil. Începe ca o fază de limitare a granulelor de austenită, care apoi se transformă într-o fază de ferită delta pe măsură ce se răcește.

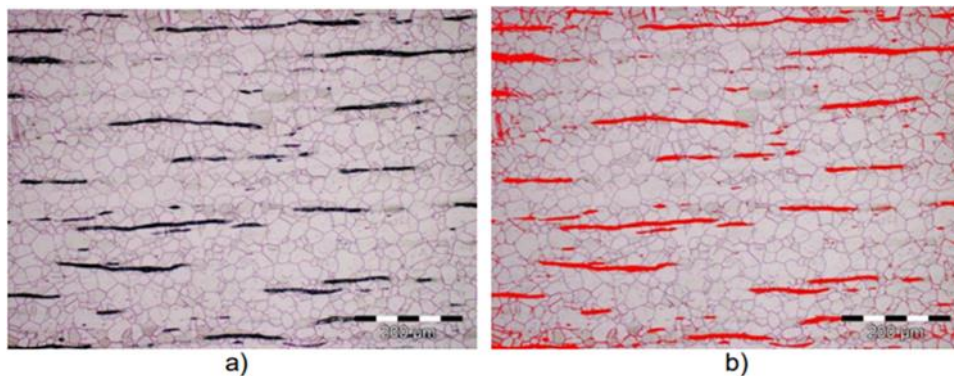


Fig. 1.4.6. Ferită Delta din oțel inoxidabil (16% Cr, 10% Ni) dispusă între grăunții de austenită. a) Microstructură reală; b) Imagine procesată cu ajutorul unui program de analiză a imaginii.

Perlita este o structură laminată (stratificată sau asemănătoare plăcilor) formată din două faze, alfa-ferită și cementită, care apare în unele tipuri de oțeluri și fonte. Perlita se formează doar în condiții speciale care trebuie controlate pentru a crea această fază de aliere. Se formează prin descompunerea eutectoidă a austenitei în timpul răcirii prin difuzia atomilor de C, când ferita și cementita cresc continuu, iar C precipită sub forma Fe₃C între lamelele de ferită la interfața în avansare, lăsând lame paralele de Fe și Fe₃C, ceea ce formează perlita.

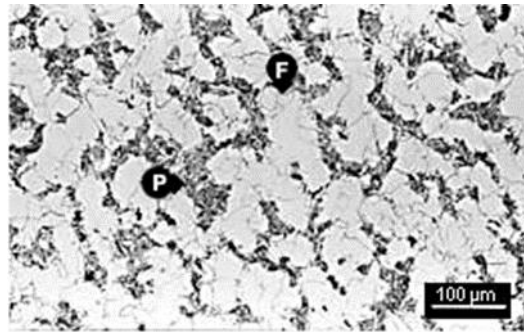


Fig. Alfa-ferită(F) și perlită(P). Sursa: TWI()

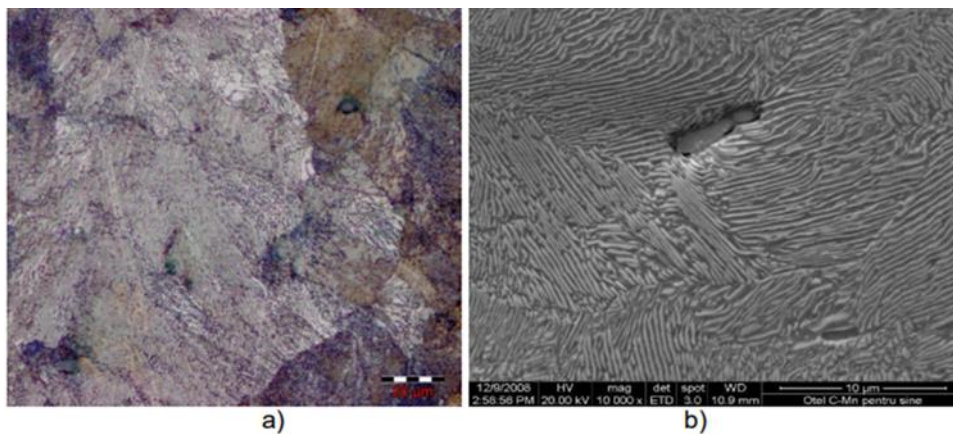


Fig. 1.4.76. Perlita lamelară. Atac: Nital 2%: a) Microscopie optică (1000x); b) SEM (10000x)

Cementita (sau carbura de fier) este un compus fier - carbon, mai precis o carbură intermediară de metal tranzițional cu formula Fe_3C . Concentrația este 6,67% carbon și 93,3% fier. Este o structură dură și fragilă, având de obicei o duritate Brinell de 700-750HB. În oțelul hipereutectoid, poate fi găsită în jurul grăunților de perlită, în timp ce în fontă are o structură în formă de ac sau cristale poliedrice.

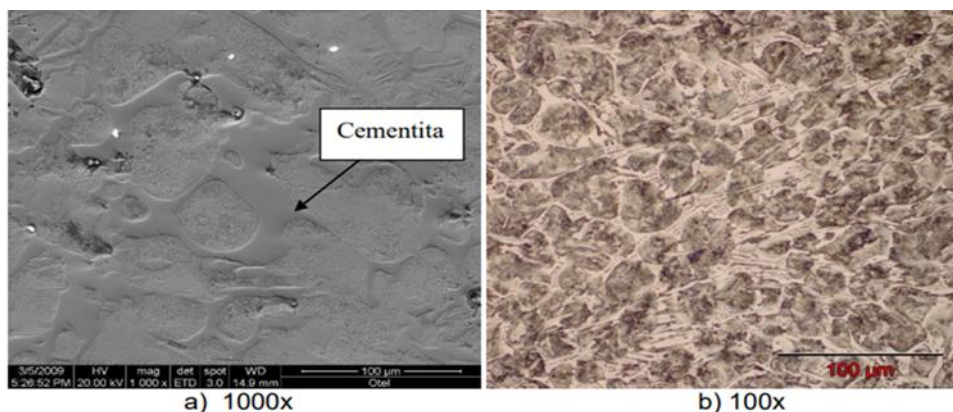


Fig. 1.4.87. Oțel hipereutectoid. a) Perlită și cementită (MEB); b) Microscopie optică.

1.4.2 Tratamente termice



Tratamentul termic este procesul de încălzire și răcire a metalelor, utilizând metode specifice prestabilite pentru a obține proprietățile dorite. În termeni simpli, tratamentul termic este procesul de încălzire a metalului, menținerea la acea temperatură și apoi răcirea lui. Pe parcursul acestui proces, piesa metalică va suferi modificări ale proprietăților sale mecanice. Aceasta se întâmplă deoarece temperatura înaltă modifică microstructura metalului. Microstructura joacă un rol important în proprietățile mecanice ale unui material.

Rezultatul final depinde de mai mulți factori. Aceștia includ timpul de încălzire, timpul de menținere a piesei metalice la o anumită temperatură, viteza de răcire, condițiile ambientale, etc. Parametrii depind de tratamentul termic, tipul de metal și dimensiunea piesei. Testele de duritate pot fi efectuate pentru a verifica succesul tratamentului termic efectuat.

Normalizarea este un tratament termic al cărui efect principal este recristalizarea fazei pentru a reduce dimensiunea grăunților, având totodată efecte pozitive asupra dehidrogenării și eliminării tensiunilor interne.

Normalizarea poate fi completă, dacă temperatura de menținere este aleasă la valori puțin peste valoarea punctului AC_3 : $T_H = AC_3 + (30 \div 50) \text{ }^\circ\text{C}$, ceea ce corespunde unei valori de aproximativ $950 \div 1050 \text{ }^\circ\text{C}$. Alegerea valorii superioare de temperatură trebuie făcută cu mare atenție pentru a evita supraîncălzirea. Răcirea se realizează în aer ventilat sau în ulei, viteza de răcire fiind mai mare decât echilibrul conform diagramă Fe-C, dar mai mică decât viteza de revenire martensitică.

Efectul de rafinare al grăunților se obține prin dubla transformare de fază în timpul încălzirii (Perlită - Austenită) și în timpul răcirii (Austenită - Ferită + Perlită). Prin acest proces, dintr-un grăunte de austenită se pot obține 3 grăunți de ferită.

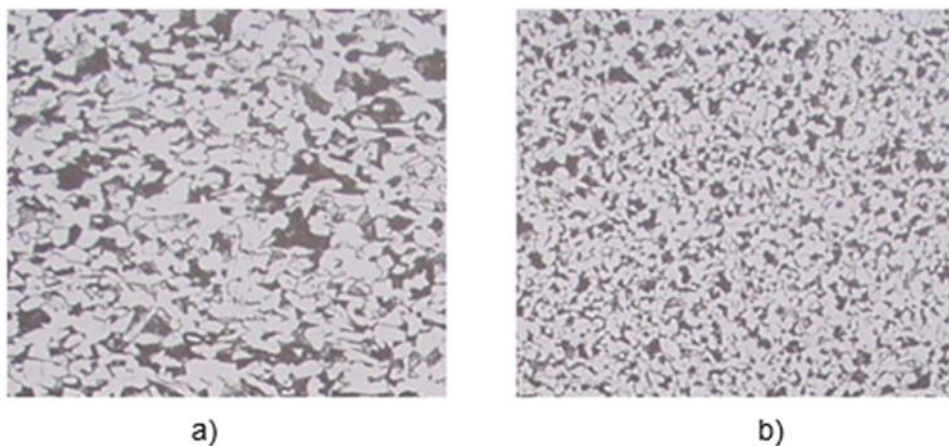


Fig. 1.4.98. Rafinarea grăunților prin normalizare a oțelului - carbon tip SA 515 Gr 70 grosime = 30mm: a) înainte de normalizare; b) după normalizare la $900 \text{ }^\circ\text{C}/1$ oră.

Călirea este un tratament termic care are ca scop aducerea materialului într-o stare foarte departe de echilibru, prin încălzirea sa la o temperatură înaltă (peste AC_3) și apoi răcirea sa la viteze suficient de mari pentru a preveni în totalitate sau parțial transformarea microstructurală care ar fi avut loc în condiții de echilibru. De multe ori, materialul călit

satisface în măsura dorită doar anumite caracteristici, în special cele legate de rezistența mecanică și duritate, afectând, pe de altă parte, caracteristicile de plasticitate și tenacitate.

Pentru a obține un efect optim în ceea ce privește comportamentul tehnologic în condițiile de lucru, piesele călite sunt supuse unui tratament termic ulterior (revenire).

Revenirea este un tratament termic aplicat după călire pentru a îmbunătăți caracteristicile care au fost slăbite din cauza călirii. Piesele sunt încălzite la o temperatură mai mică decât AC1 și apoi răcite în aer. În Fig. 1.4.10a și 1.4.10b este posibil să se observe oțelul C45 în stare comercială. În această condiție, microstructura prezintă ferită și perlită ca structuri principale. Figura 1.4.10a a fost obținută cu un obiectiv optic de 20X, iar figura 1.4.10b a fost obținută cu o mărire de 100X. Figurile 1.4.10c și 1.4.10d au fost obținute cu mărire de 50X și respectiv 100X, condiția materialului fiind intrat în apă. Figurile arată o structură lungă în formă de ac. După răcire, structura rezultată este martensită. Figurile 1.4.10e și 1.4.10f au fost obținute cu mărire de 50X și 100X, condiția materialului fiind intrat și eveniment (Q-T), iar structura observată a fost martensită revenită.

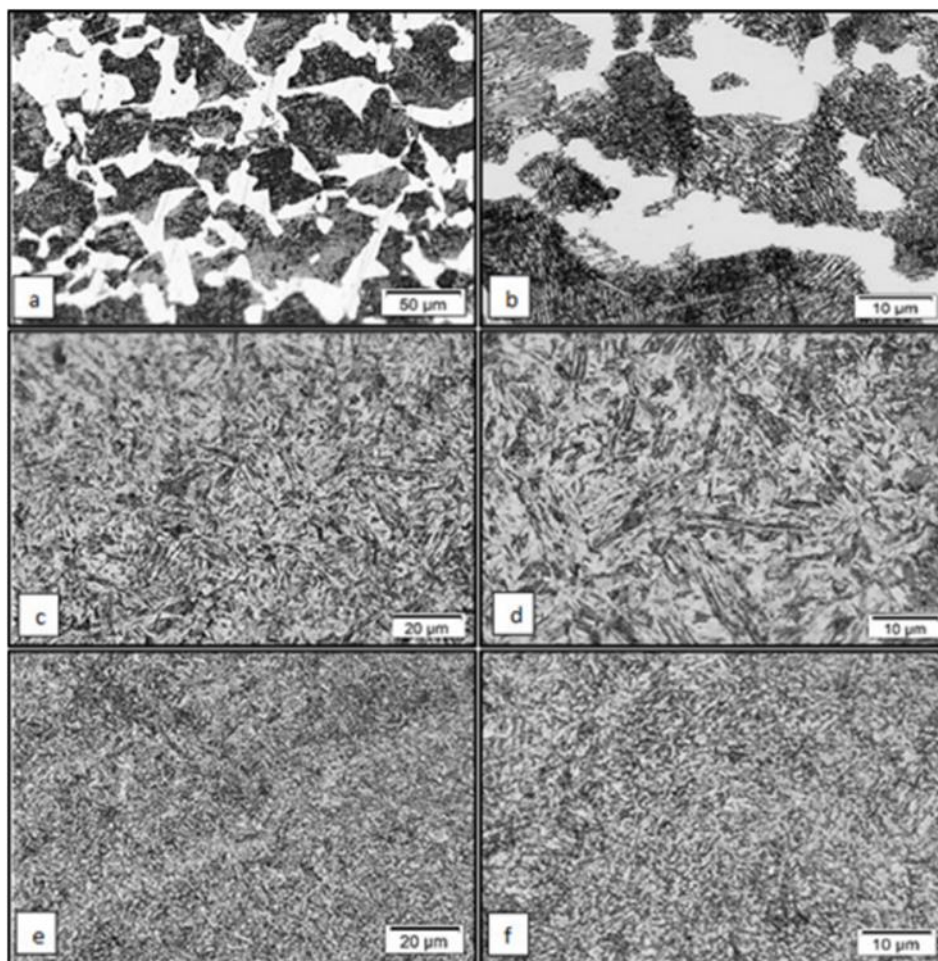
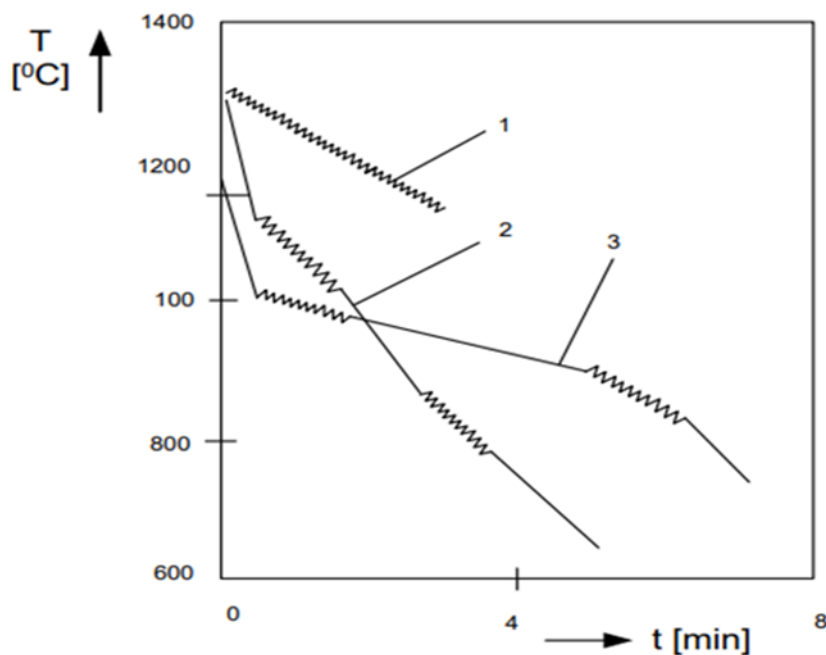


Fig. 1.4.9 Microstructuri optice obținute pentru oțelul C45 revenit în apă. a) Stare comercială la 20x. b) Stare comercială la 100x. c) revenit in apă la 50x. d) revenit in apă la 100x. e) Calit și revenit la 50x. f) Calit și revenit la 100x. (Sursa: <http://www.iaeme.com/IJMET/index.asp> 146 editor@iaeme.com)

Oțelurile procesate termomecanic controlat (TMCP) se obțin prin combinarea deformării plastice cu tratament termic de laminare (proces de laminare termomecanică). Este un procedeu unic deoarece asigură cea mai bună combinație de rezistență și tenacitate la conținuturi reduse de carbon, ceea ce nu poate fi obținut prin niciun alt tip de tratament termic.



1 – Deformare clasică prin laminare la temperaturi ridicate pe întregul proces; 2 – Laminare la cald cu control al temperaturii; 3 – Laminare la cald combinată cu tratamentul termomecanic, după o răcire intermediară care se realizează la temperaturi mai scăzute.

Prin combinarea efectelor microalierării cu deformarea prin laminare la temperaturi tot mai scăzute, se obține o reducere de aproximativ 8 ori a dimensiunii grăunțelului fero-feritic, ceea ce determină o creștere semnificativă a rezistenței la tracțiune și, mai presus de toate, o îmbunătățire esențială a caracteristicilor de tenacitate.

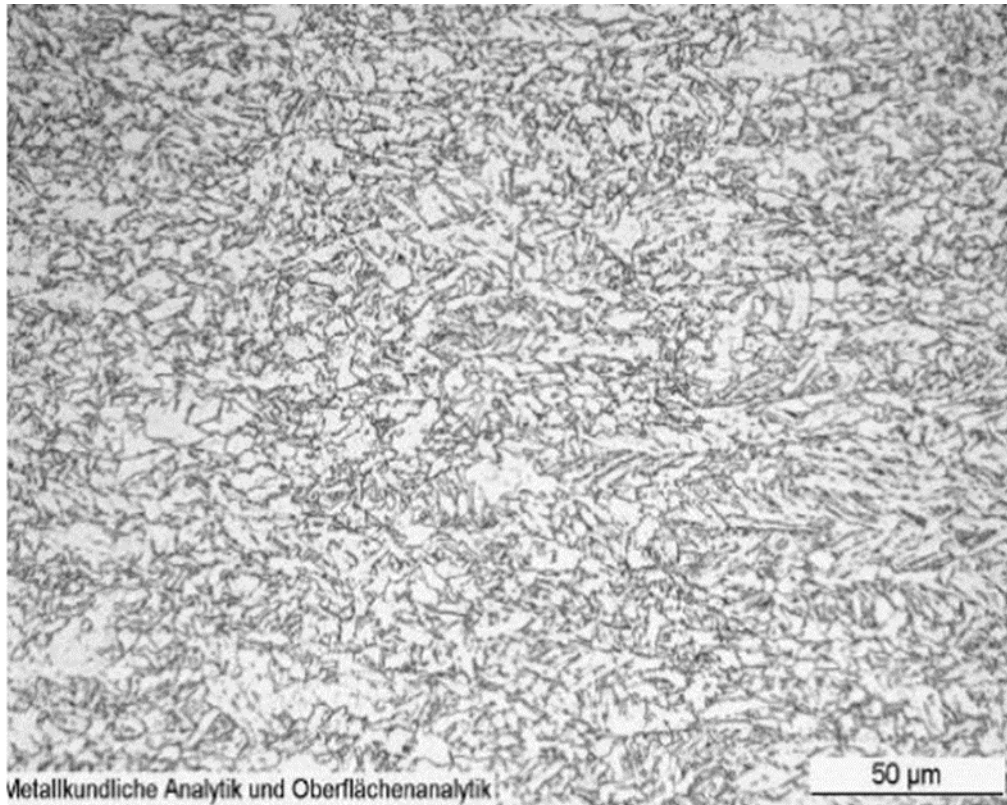
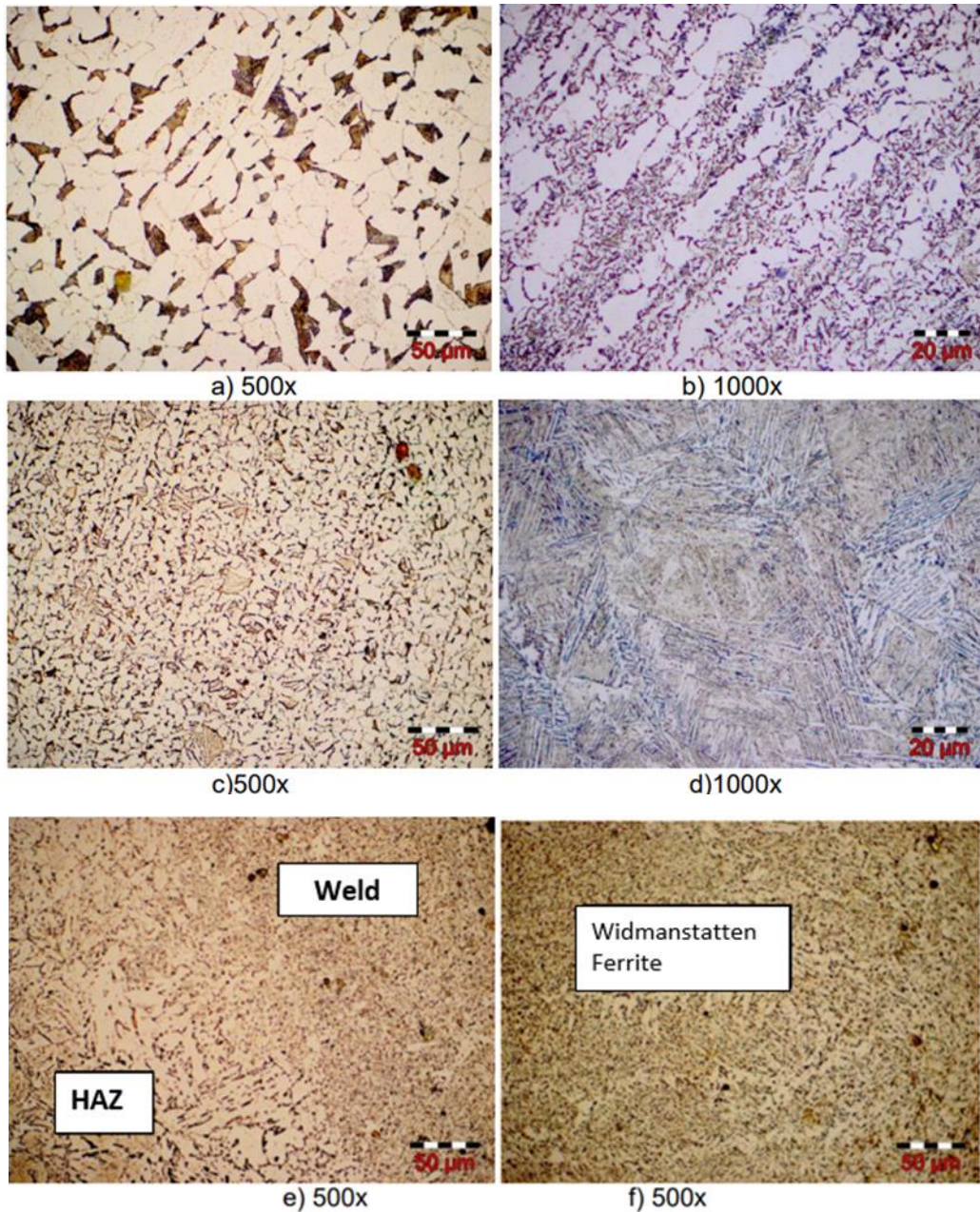


Fig. 1.4.11. Microstructura oțelului TMCP

1.4.3. Aspecte microstructurale ale unei suduri

În următorul set de imagini obținute prin microscopie optică pot fi văzute diferite zone ale unei îmbinări sudate din oțel carbon și structurile lor specifice, cum ar fi:

- Material de bază: ferită poligonală (culoare albă) și perlită (eliminare lamelară, culoare maro-albastru deschis);
- Microzonă de recristalizare a HAZ: ferită și perlită ușor modificate;
- Microzonă de normalizare: ferită fină și perlită care a fost recristalizată;
- Microzonă supraîncălzită: perlită și ferită Widmanstätten;
- Linia de fuziune: unde se poate observa diferența de mărime a granulelor a HAZ;
- Cusătură sudată: ferită fină, ferită Widmanstätten și precipitate de carburi.



Când răcirea se efectuează imediat sub AC_3 , ferita începe să se nucleeze la limitele grăunților de austenită, iar grăunții formați cresc sub formă de blocuri masive formând așa-numitele limite ale grăunților alotriomorfi.

La valori crescute de răcire, tendința de creștere a feritei începe să se manifeste sub forma unor structuri lamelare masive, numite structură Widmanstätten, care se rafinează apoi pe măsură ce viteza de răcire crește.

Referințe:

[1.4.1] Voiculescu I, Geantă V, Vasile I M, 2016, Aliaje feroase pentru structuri sudate (Ferrous alloys for welded structures).

[1.4.2] Jurnalul Internațional de Inginerie Mecanică și Tehnologie (IJMET). Volume 9, Issue 7, July 2018, pp. 146–154, Article ID: IJMET_09_07_017.

[1.4.3] ASM Manual Volume 4. Tratament termic.

[1.4.4] ASM Manual Volume 6. Sudarea, lipirea și lipirea.

[1.4.5] ASM Manual Volume 9. Metalografie și Microstructuri.

2. CU2: Metode specifice pentru pregătirea probelor pentru examinări macro și microscopice

2.1. Lustruire electrolitică, lustruire chimică, atac color – scop și aplicare

În acest capitol, vom discuta trei metode esențiale utilizate în domeniul metalografiei: lustruirea electrolitică, lustruirea chimică și atac colorat. Aceste tehnici joacă un rol vital în examinarea și analiza materialelor metalice, oferind perspective unice asupra caracteristicilor microstructurale și a suprafeței acestora.

2.1.1. Introducere în lustruirea electrolitică. Definiție, scop și cum funcționează

Cunoscută și sub denumirea de lustruire electrochimică, lustruire anodică sau lustruire electrolitică, electro-lustruirea este utilă în special pentru lustruirea și debavurarea pieselor care sunt casante sau au geometrii complexe. Lustruirea electromagnetică îmbunătățește finisarea suprafeței prin reducerea rugozității suprafeței cu până la 50%. Principiul electropolisării este prezentat în figura 2.1.1.

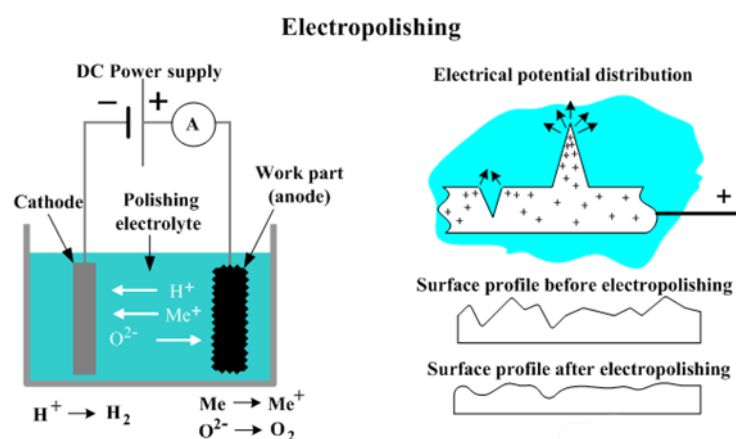


Figure 2.1.1 Principiul de lustruire electrolitică [2.1.1]

Scopul lustruirii electrolitice este dublu: rafinarea suprafeței și pregătirea suprafeței. Prin supunerea probei la un curent electric în prezența unui electrolit, această tehnică elimină neregularitățile de suprafață, cum ar fi zgârieturile, deformarea și contaminanții de suprafață. Rezultatul este o suprafață netedă și uniformă care facilitează analiza și observațiile microstructurale precise, așa cum se vede în figura 2.1.2. Obiectivul principal al lustruirii electrolitice este de a crea o suprafață care să reflecte cu exactitate microstructura reală a materialului.

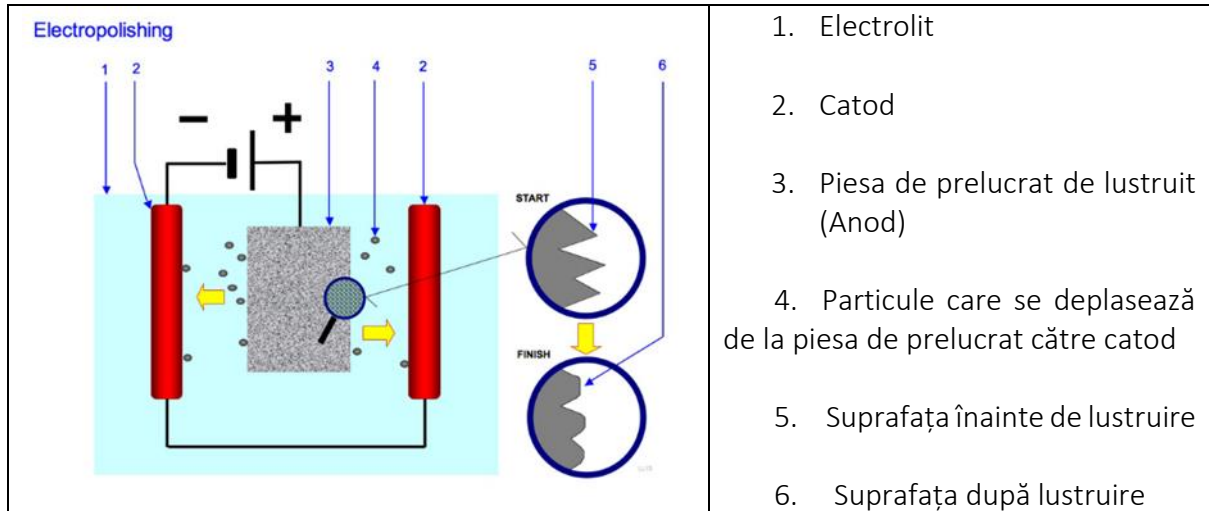


Figure 2.1.2. Cum funcționează electrolustruirea [2.1.2]

În electrolustruire, piesa metalică sau piesa de prelucrat servește ca anod încărcat pozitiv. Piesa de prelucrat este conectată la borna pozitivă a unui redresor de curent continuu. Catodul încărcat negativ, realizat în general din oțel inoxidabil sau zirconiu, este conectat la borna negativă a redresorului de curent continuu.

Atât anodul cât și catodul sunt scufundați într-o baie cu temperatură controlată de soluție electrolică. Produsele chimice de electrolustruire pentru oțel inoxidabil constau de obicei dintr-un amestec cu vâscozitate ridicată de acid sulfuric și acid fosforic.

Curentul electric de la redresor este condus de la anod la catod prin electrolit. Curentul electric face ca ionii metalici de pe suprafața piesei să se oxideze și să se dizolve în electrolit. Acest proces poate dizolva cantități extrem de mici, strâns controlate de metal, rezultând îndepărtarea suprafeței cu grosimea de microni, așa cum putem vedea în videoclipul din figura 2.1.3.



Fig. 2.1.3 Pregătirea probelor electrolitice. Lustruire [2.1.3]

Parametrii importanți pentru un proces de electrolustruire de succes

Cantitatea de îndepărtare a suprafeței metalice este controlată de următorii factori:

Compoziția chimică a electroliților;

- Temperatura electrolitului (de obicei 76 °C – 82 °C);
- Durata timpului de expunere la curent electric;
- Densitatea curentului electric (variază în funcție de electrolit; intervalul tipic este de 140 – 250 amps/m²);
- Compoziția aliajului metalic supus la electrolustruire.

În procesul de electrolustruire, bavurile și alte vârfuri de rugozitate ale suprafeței atrag o densitate mai mare a curentului electric și sunt primele care se erodează, într-un fenomen cunoscut sub numele de nivelare anodică. Îndepărtarea preferențială a porțiunilor proeminente ale structurii suprafeței duce la o suprafață metalică mai netedă.

Fluxul electroliților și agitația

Menținerea unui flux de electrolit constant și controlat este esențială pentru lustruirea electrolitică eficientă. Fluxul electrolitului ajută la îndepărtarea resturilor și la prevenirea acumulării de material dizolvat pe suprafața probei, care ar putea împiedica procesul de lustruire. De asemenea, promovează uniformitatea în îndepărtarea materialului, asigurând un finisaj consistent al suprafeței.

Tehnicile de amestecare, cum ar fi amestecarea mecanică sau amestecarea cu ultrasunete, pot îmbunătăți și mai mult fluxul de electroliți și pot îmbunătăți rezultatele de lustruire. Amestecarea ajută la dislocarea bulelor de aer/gaz, promovează distribuția uniformă a electrolitului și îmbunătățește transferul de masă la suprafața probei. Acest lucru asigură că întreaga suprafață este expusă la electrolit, prevenind efectele localizate și realizând o îndepărtare mai uniformă a materialului.

Configurația electrozilor

Configurația și aranjarea electrozilor în lustruirea electrolitică influențează distribuția curentului electric și îndepărtarea materialului pe suprafața probei. Electrozii servesc drept conductori pentru curentul electric, iar amplasarea și geometria lor pot fi ajustate pentru a controla procesul de lustruire.

În mod obișnuit, sunt utilizate două tipuri de configurații de electrozi: electrod simplu și electrod dublu. Într-o configurație cu un singur electrod, proba în sine acționează ca un singur electrod, în timp ce se folosește un contra electrod separat. Într-o configurație cu electrod dublu, atât proba, cât și un electrod auxiliar separat sunt scufundate în soluția de electrolit. Alegerea configurației electrodului depinde de cerințele specifice ale probei și de rezultatele de lustruire dorite. În figurile de mai jos sunt prezentate gravarea unitară cu doi și trei electrozi.

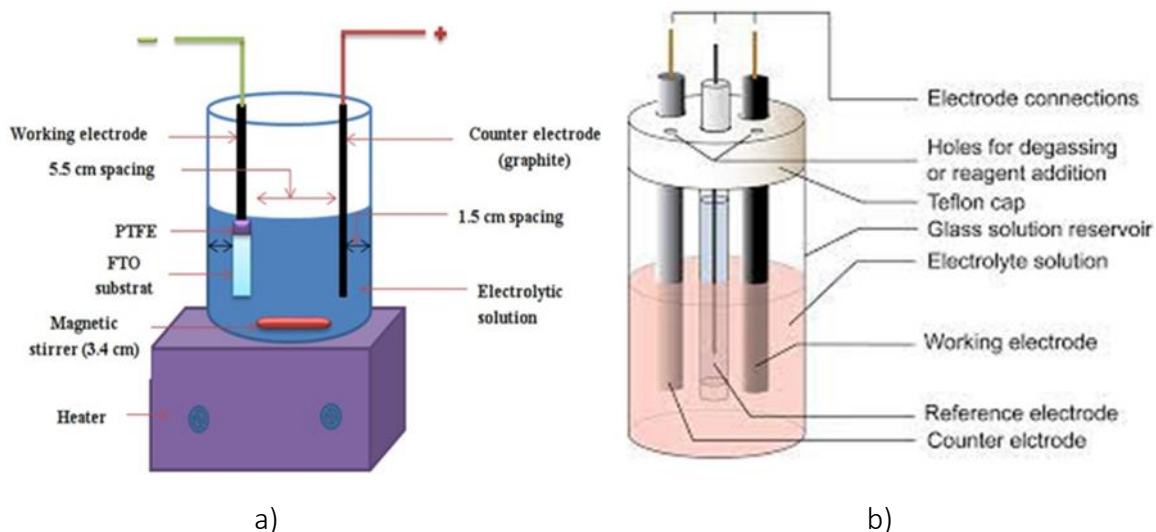


Fig. 2.1.4. Configurația electrozilor cu: a) doi electrozi, b) trei electrozi [2.1.4].

Densitatea curentului și parametrii de tensiune

Densitatea curentului și parametrii de tensiune sunt variabile critice care guvernează rata de îndepărtare a materialului și finisarea suprafeței în timpul lustruirii electrolitice. Densitatea de curent se referă la cantitatea de curent electric aplicată pe unitatea de suprafață a probei. Acesta determină rata de îndepărtare a materialului, cu densități de curent mai mari, rezultând o îndepărtare mai rapidă și suprafețe potențial mai aspre. Densitatea de curent este controlată prin ajustarea tensiunii aplicate și a suprafeței electrodului.

Tensiunea aplicată influențează și procesul de lustruire electrolitică. Determină forța de antrenare pentru reacțiile electrochimice și îndepărtarea materialului. Prin ajustarea tensiunii, cercetătorii pot controla rata de îndepărtare a materialului, rugozitatea suprafeței și selectarea procesului de lustruire. Optimizarea densității curentului și a parametrilor de tensiune necesită o analiză atentă a materialului eșantionului, a compoziției electroliților și a caracteristicilor de suprafață dorite. Adesea implică testare și ajustare iterativă pentru a obține rezultatele dorite, evitând în același timp îndepărtarea excesivă a materialului sau deteriorarea suprafeței.

Cât de mult material îndepărtează electrolustruirea?

Cantitatea de material care este îndepărtată de sistemele de lustruire este direct proporțională cu timpul de funcționare / timpul ciclului și cu amperi/minut care trec prin suprafața piesei. Toate aceste variabile pot fi controlate pentru a crea un finisaj al suprafeței consistent, controlat în mod fiabil.

Grosimea straturilor de material îndepărtate este de obicei cuprinsă între 0,0008 mm și 0,0018 mm pentru majoritatea aplicațiilor de debavurare și lustruire după prelucrare. Cu o monitorizare precisă, electrolustruirea poate îndepărta doar 0,00025 mm. Pentru un proces de electrolustruire cu timp de ciclu mai lung și amperi/minut, pot fi îndepărtate până la 0,008 mm până la 0,0125 mm de material. Cu cât curentul electric este aplicat mai mult timp, cu atât mai mult

material este îndepărtat, dar finisajul suprafeței rezultat este mai puțin uniform. Astfel, procesul se aplică cel mai bine la micro-bavuri, sau la cele care ies cu mai puțin de aproximativ 0,0038 mm de la suprafața piesei.

Exemple de specificații de îndepărtare a materialului în funcție de aplicație sunt prezentate în tabelul 2.1.1.

Tabelul 2.1.1. Specificații de îndepărtare a materialului în funcție de aplicație

Aliaj de metal	Controlul îndepărtării materialelor în proces	Minimum/curățenie	Microfinisare	Micro-debavurare	Rezistență la coroziune
Titan	0.0254 mm pe suprafață	0.0254 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 pe suprafață	N/A
Nitinol	0.0254 mm pe suprafață	0.0254 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 pe suprafață	N/A
Alamă	0.0635 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	N/A
Cupru	0.0635 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	N/A
Oțel	0.0635 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	N/A
Oțel inoxidabil	0.0254 mm pe suprafață	0.0254 mm pe suprafață	0.127 pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	0.127 mm pe suprafață
Aluminiu	0.0635 mm pe suprafață	0.0635 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	0.127 - 0.254 mm pe suprafață	N/A

Electrolustruirea este un proces electrochimic controlat care îndepărtează selectiv materialul de suprafață, de obicei de la câțiva micrometri până la zeci de micrometri în adâncime. Viteza de îndepărtare a materialului în electrolustruire este influențată de factori precum compoziția și concentrația electrolitului, temperatura, densitatea curentului și durata procesului. Acești parametri pot fi ajustați pentru a obține finisarea dorită a suprafeței și pentru a controla cantitatea de material îndepărtat. Este important de remarcat faptul că electrolustruirea este utilizată în principal pentru a îmbunătăți finisarea suprafeței, pentru a îmbunătăți curățenia și pentru a reduce defectele de suprafață, mai degrabă decât pentru a îndepărta cantități semnificative de material. Procesul este de obicei mai concentrat pe nivelarea și netezirea suprafeței, eliminarea imperfecțiunilor și îmbunătățirea esteticii suprafeței. Pentru a determina cantitatea exactă de material îndepărtat în timpul electrolustruirii pentru o anumită aplicație, se recomandă consultarea specificațiilor tehnice furnizate de producătorul echipamentului sau efectuarea de teste experimentale în condiții controlate.

Preparare electrolică

Pregătirea electrolică folosește o celulă de reacție electrolică care conține un electrolit lichid cu doi electrozi: un anod și un catod. Proba de lustruit/gravat formează anodul. Se aplică curent care forțează metalul anodului să se dizolve, să se miște și să se depună pe catod ca acoperire. Electrozii sunt conectați la o sursă de alimentare externă și se aplică tensiune pentru a provoca reacția în interiorul celulei.

Mai jos în figura 2.1.5 este prezentată curba caracteristică pentru o celulă electrolică. Această curbă depinde de electrolitul utilizat și va varia pentru diferiți electroliți. Controlul tensiunii și densității curentului la anod, plus compoziția electrolitului, temperatura și amestecarea sunt toate esențiale pentru obținerea caracteristicilor de lustruire/gravare dorite. Stabilirea unui control adecvat al acestor parametri poate fi dificilă și, în plus, mulți dintre electroliți sunt periculoși sau chiar explozivi. În cazul acestuia din urmă, controlul temperaturii este critic. Lustruirea sau gravarea electrolică fără experiența și măsurile de siguranță necesare nu trebuie să fie încercate.

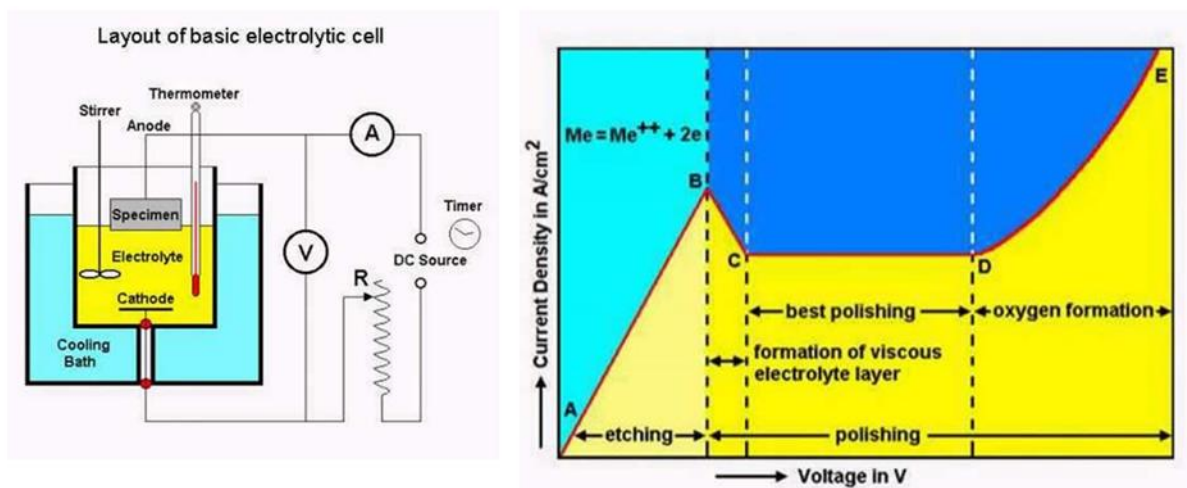


Fig. 2.1.5 Curba caracteristică pentru o celulă electrolică [2.1.5]

Factorii care controlează caracteristicile de gravare/lustruire includ:

- Compoziția electrolică;
- Temperatura electrolitului;
- Amestecarea electroliților;
- Zona de lustruit/gravat (densitatea curentului);
- Tensiune.

Beneficiile electrolustruirii

Țevile metalice sunt folosite mai ales pentru transportul gazelor și lichidelor. Există aplicații uzuale, cu costuri reduse și mai puțin sensibile, cum ar fi liniile de alimentare cu apă, la aplicații comerciale, cu costuri ridicate, foarte sensibile, cum ar fi echipamentele medicale. Diferitele aplicații ar necesita standarde și calități diferite. Pe lângă calitățile mecanice și chimice, uneori dimensiunile trebuie să fie precise.

Tuburile sunt fabricate să fie fără sudură prin procedee de tragere pentru a depăși această problemă. Țevile fără sudură sunt precise dimensional și pot avea o rugozitate absolută mai mică. Dar atunci când aplicarea este extrem de sensibilă și necesită ca interiorul țevii să fie cât mai curat și cât mai neted, se aplică electrolustruirea. Procedura este efectuată printr-un proces numit electroliză în care produsul pierde atom cu atom la suprafață și ajunge la un finisaj lustruit.

Tabelul 2.1.2 Beneficiile electrolustruirii

Beneficiu	Descriere
Aspect decorativ	Finisajul strălucitor și lucios, adesea foarte reflectorizant, este plăcut din punct de vedere estetic și uniform, fără linii fine care apar la lustruirea abrazivă.
Netezime microscopică	Nivelează vârfurile și adânciturile și asigură o îmbunătățire cu până la 50% a rugozității suprafeței (Ra). Rugozitatea suprafeței se referă la textura sau aspectul unei suprafețe exterioare, captând neregularitățile acesteia și variațiile microscopice de înălțime sau adâncime. Joacă un rol crucial în determinarea modului în care suprafețele interacționează între ele, afectând frecarea, uzura și proprietățile de etanșare. În schimb, rugozitatea internă se referă la starea unei suprafețe dintr-un material sau componentă, asociată de obicei cu imperfecțiuni sau nereguli care nu sunt vizibile în exterior. Rugozitatea internă, cum ar fi defectele microstructurale sau inconsecvențele, pot afecta integritatea structurală și proprietățile mecanice ale materialului, dar este adesea mai dificil de detectat sau evaluat în comparație cu rugozitatea suprafeței, necesitând adesea tehnici specializate pentru evaluare. Spre deosebire de finisarea mecanică, electrolustruirea nu lasă pete, îndoai, tensionează sau fisurează suprafața metalică cristalină.
Debavurare	La nivel microscopic, electrolustruirea îndepărtează mici bucăți de material de suprafață dislocat care pot prinde și se pot rupe.
Finisaj ultra-curat	Creează o suprafață curată care este mai ușor de sterilizat. Îndepărtează contaminanții încorporați care pot duce la coroziune.
Îndepărtarea defectelor de suprafață	Crește durata de viață operațională prin îndepărtarea crăpăturilor de la suprafață, eliminând astfel locurile unde coroziunea poate să se instaleze. Ajută piesele care trebuie să se îndoie și să se flexeze să dureze mai mult.
Reducerea frecării	Prelungește durata de viață a pieselor aflate în mișcare constantă. Reduce uzura pe piesele filetate, îmbunătățind etanșarea.
Eliminarea depunerilor de oxid	Elimină decolorarea sudurii cauzată de căldură și "scara de oxid"
Recomandat pentru piesele fragile	Funcționează pe părțile delicate care ar putea fi deteriorate într-un proces de turnare. Poate înlocui unele tehnici mecanice de finisare, cum ar fi șlefuirea, frezarea și sablare.

Recomandat pentru piese complexe	Poate lustrui zonele care sunt inaccesibile prin alte metode de lustruire fără a provoca daune. Tratează eficient suprafețele mici pe componente complexe.
Controlul dimensiunii	Poate fi folosit pentru a reduce ușor dimensiunea pieselor, dacă este necesar.

Cu toate acestea, procesul are și dezavantajele sale. Chiar și cu această metodă, rugozitatea absolută persistă într-o oarecare măsură. Timpul necesar procesului ar putea fi tolerat, dar este costisitor, iar unii dintre acizii și alte substanțe chimice utilizate ar avea un impact asupra produsului finit. În timp ce îndepărtează straturile de suprafață, procesul elimină și impuritățile, rezultând o rezistență mai mare la coroziune.

Atac color

Suprafețele lustruite direct pot fi inspectate folosind EBSD (difracție cu retrodifuzare a electronilor), dar în multe cazuri calitatea modelului este îmbunătățită prin gravare, așa cum se arată în figura 2.1.6. În plus, atac color delimitează structura grăunților, ceea ce este un beneficiu evident. Cu toate acestea, gravarea poate ataca preferențial o a doua fază sau poate ataca excesiv limitele grăunților. Trebuie avută prudență atunci când alegeți și utilizați agenți de atac. Inspectați suprafața probei folosind un microscop cu lumină înainte și după atac pentru a evalua efectul. Materialele care sunt greu de lustruit pot beneficia de atac și lustruirea repetată. Această metodă poate expune o suprafață nedeteriorată potrivită pentru EBSD atunci când lustruirea și atacul convențională nu reușesc să obțină o suprafață adecvată. Utilizând șervețele rezistente la acizi sau alcali, este posibil să se adauge și substanțe de atac diluate pe șervețel în timpul procesului de lustruire. Deși această metodă poate fi eficientă, poate fi dificil de controlat

Orice agent de atac care este folosit trebuie să dizolve suprafața probei într-un mod uniform și să nu lase în urmă oxizi sau straturi de produse de reacție. Astfel de straturi pot suprima complet difracția.

Mulți agenți de atac enumerați în manualele metalografice sunt „gravuri de contrast” care se bazează pe formarea de straturi de oxid de grosimi diferite pentru a genera culori vizibile folosind un microscop luminos. Prin urmare, astfel de agenți de gravare nu sunt în general potriviți pentru EBSD.

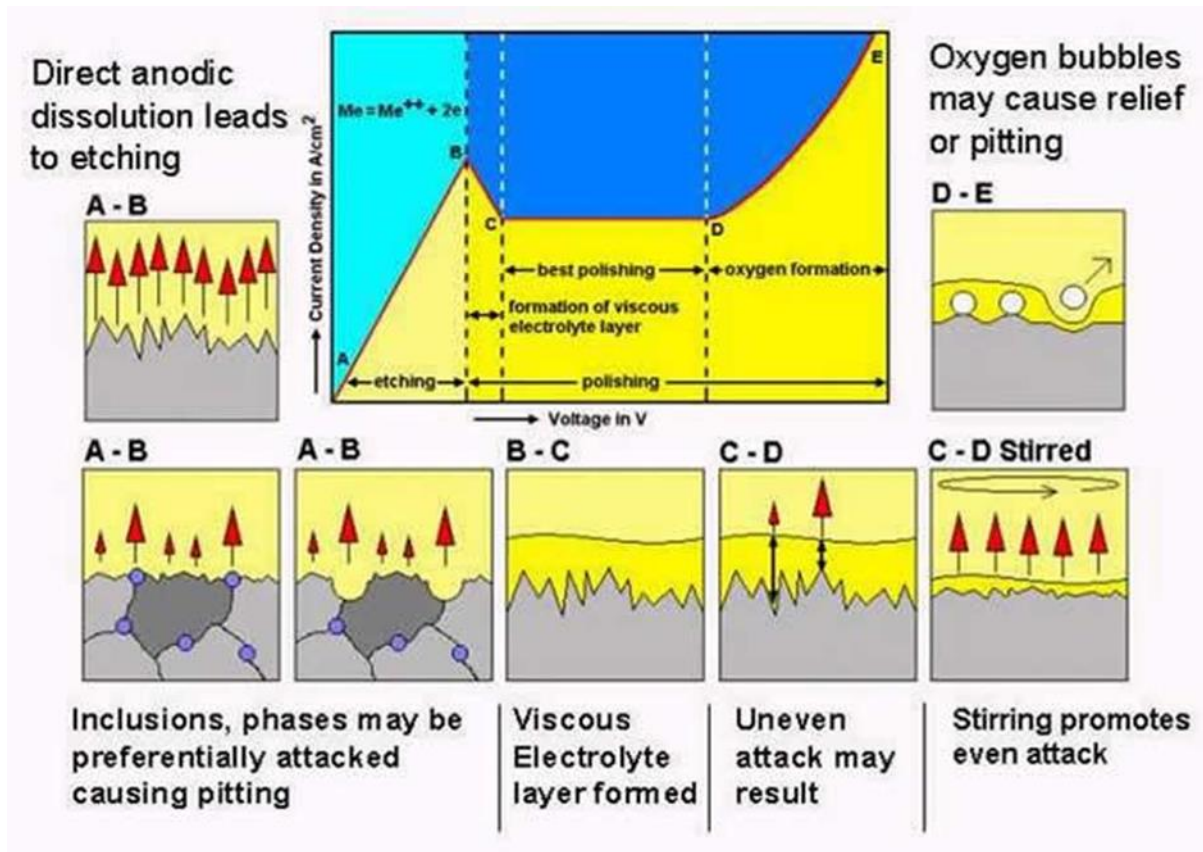


Fig. 2.1.6 Suprafața mostrei în raport cu tensiunea și densitatea curentului [2.1.5]

Aplicații comune pentru electrolustruire

Începând cu anii 1950, oamenii de știință au folosit în comerț combinația de electricitate și substanțe chimice pentru a îmbunătăți finisarea suprafeței metalelor. Este o procedură de finisare comună într-o mare varietate de industrii, inclusiv următoarele:

- Chirurgii și stomatologii folosesc electrolustruirea pentru a-și menține instrumentele curate și funcționale.
- Procesatorii de produse alimentare, băuturi și farmaceutice beneficiază de caracteristicile de sterilizare ale electrolustruirii.
- Producătorii de aparate folosesc electrolustruirea pentru aparate precum frigiderele și mașinile de spălat pentru a face piesele să dureze mai mult și să arate mai bine.
- Producătorii aerospațiali folosesc electrolustruirea pieselor critice pentru zbor pentru a reduce frecarea și pentru a asigura performanță de top.
- Producătorii de semiconductori folosesc electrolustruirea pentru produse fragile, de formă neregulată.
- Producătorii de automobile și industria de curse folosesc electrolustruirea angrenajelor și conductelor de combustibil pentru a reduce frecarea, a spori performanța și a asigura o durată lungă de viață a pieselor.

Exemple de piese metalice lustruite în mod obișnuit electrostatic:

- Țevi
- Elemente de fixare
- Arcuri
- Rafturi de sârmă
- Lame

Lustruirea electrostatică își găsește o aplicație largă în industrii precum industria aerospațială, medicală, alimentară, auto și cercetarea materialelor, ajutând la evaluarea limitelor grăunților, a defectelor de suprafață și la distribuția fazelor.

Ce tipuri de metale pot fi electrolustruite?

Electrolustruirea oțelului inoxidabil: este cea mai comună utilizare a electrolustruirii. După cum este prezentat în figura 2.1.7. Oțelul inoxidabil electrolustruit are un finisaj neted, strălucitor, ultra-curat, care rezistă la coroziune. Deși aproape orice metal va funcționa, cele mai frecvente metale electrolustruite sunt oțelul inoxidabil din seriile 300 și 400.

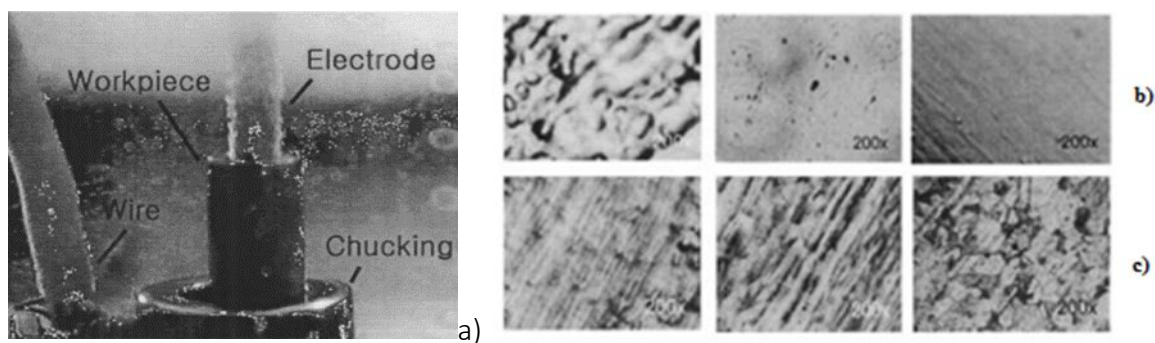


Fig.2.1.7 Electroplating for stainless steel pipes (STS316L): a) Experimental structure, b) optical micrographs, c) metallographic micrographs [2.1.6]

Piese fabricate din oțel inoxidabil (SS) din seria 400 au avantajul unei durtăți și rezistențe crescute cu prețul unei susceptibilități crescute la coroziune. Prin electrolustruirea oțelului inoxidabil, inginerii pot folosi SS din seria 400 și oferă totuși protecție împotriva coroziunii. Dacă utilizați oțel inoxidabil din seria 400, trecerea la electropolizarea pieselor din oțel inoxidabil vă poate oferi avantajele combinate ale rezistenței la coroziune, durtății și rezistenței.

Electrolustruirea oțelului inoxidabil după sudare poate îndepărta depunerile dure de oxid și decolorare termică care pot apărea în oțelul inoxidabil după sudare. Electrolustruirea rapidă este o tehnică de îndepărtare a depunerilor sau oxidării de pe suprafața unui metal tratat termic. De exemplu, pe unele instrumente chirurgicale din oțel inoxidabil (SS) 17-4 poate prezenta o culoare maro după sudare. după sudare și/sau tratament termic. Pentru a elimina aspectul maro piesele sunt supuse unui proces de electropolizare rapidă. Electropolizare "rapidă" se referă la cât de repede are loc lustruirea: doar 10 secunde de electrolustruire, comparativ cu minimum 2 minute pentru majoritatea aplicațiilor.

Oțelul inoxidabil șlefuit prin electrolustruire este singura modalitate de a îndepărta depunerile fără un proces care necesită o forță foarte mare de muncă și are avantajul suplimentar de a obține rezultate consistente. În schimb, utilizarea sablării pentru îndepărtarea scării de pe un instrument din oțel inoxidabil (SS) 17-4 va dura de aproximativ 4 ori mai mult și adesea va produce rezultate inconsistente, cu o finisare a suprafeței neregulată, ondulată, după curățare. Rețineți că electrolustruirea rapidă este diferită de „atacul rapid”, un defect care poate apărea într-un proces de pasivare.

În plus față de oțelul inoxidabil, alte metale compatibile cu electrolustruirea includ:

- Aluminiu;
- Alama;
- Oțeluri carbon;
- Crom cobalt;
- Aliaje de cupru (figura 2.1.8);
- Aliaje de nichel;
- Titan;
- Nitinol.

Un succes limitat poate fi obținut cu metalele turnate, cum ar fi aliajele care conțin cantități semnificative de siliciu, sulf sau carbon. Lustruirea electrostatică a pieselor turnate sub presiune din aluminiu și zinc nu funcționează bine, dar majoritatea celorlalte aliaje de aluminiu dau rezultate bune. Titanul și nitinolul sunt, de asemenea, compatibile cu electrolustruirea; totuși, soluția de electrolit pentru aceste metale este foarte inflamabilă și necesită sisteme de răcire pentru a preveni arderea electrolitului la temperatura camerei.

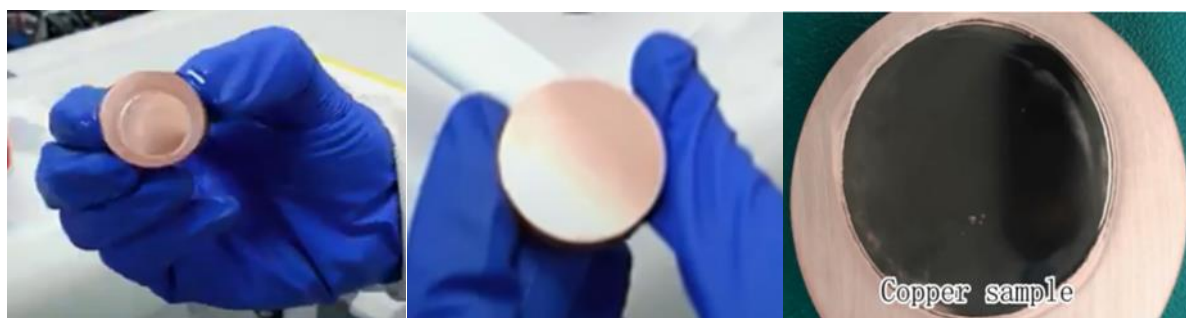


Fig. 2.1.8. Eșantion de lustruire electromagnetică de cupru [2.1.7]

În tabelul 2.1.3 sunt prezentați parametrii majori implicați în procesul de electrolustruire pentru oțel inoxidabil și în tabelul 2.1.4 pentru cupru.

Tabel 2.1.3 Parametri comuni ai procesului de electrolustruire a piesei de prelucrat din oțel inoxidabil:



Electrolit	Tip din oțel inoxidabil	Temperatura	Interval de densitate de curent	Tensiune
Acid fosforic, acid sulfuric și amestec de glicerol	304	30 to 700 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nu este specificat
Acid fosforic, acid sulfuric și amestec de glicerol	304	5 to 800 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nu este specificat
Acid fosforic, acid sulfuric și amestec de glicerol	304	30 to 700 °C	0.5 to 1A/cm ²	Nu este specificat
Acid fosforic, acid sulfuric și apă	Fe13Cr	25 to 700 °C	0.01 to 0.225 A/cm ²	-0.81 to 1.45 V
Patru electroliți (amestecuri de acid sulfuric, acid fosforic și glicerol)	316L	50 to 800 °C	Nu este specificat	Rata de scanare a tensiunii 5 mV/s
Amestecuri de acid sulfuric, acid fosforic și apă cu/fără glicerină	316L	50 to 950 °C	0.5 to 2,5 A/cm ²	Nu este specificat
Amestecuri de acid sulfuric, acid fosforic și apă glicerol	316L	65 to 700 °C	Nu este specificat	2.5 to 10V

Tabelul 2.1.4 Parametri comuni ai procesului de electrostruire a piesei de cupru:

Electrolit	Temperatura	Interval de densitate de curent	Tensiune
Acid ortofosforic anhidru	250°C	Nu este specificat	Nu este specificat
Soluție de acid ortofosforic (soluție neagitată)	-5,60°C to 530°C	0.2 to 1.5 A/dm ²	0,7 to 0,9 V
Soluție ortofosforică acid/apă (soluție agitată)	-5,60°C to 530°C	0.2 to 1.5 A/dm ²	Nu este specificat

Soluție ortofosforică acid/apă	250°C	0.0625 A/cm ²	0.8 to 1.2 V
Soluție de acid fosforic/apă cu/fără glicerol, etilen glicol	170 to 250 °C	2 to 4.2 mA/cm ²	0.25 to 1.5 V
Soluție de acid fosforic/fosfat de cupru/apă	250°C	50 to 1000 mA/cm ²	0.2 to 0.8 V
Soluție de acid ortofosforic/acid sulfuric/apă	250°C	0.1 A/cm ²	1.8 to 2.2 V

Concluzii finale

Electrolustruirea este un tratament distinctiv al suprafețelor metalice, utilizat pentru a îndepărta neregularitățile aspre de pe suprafețele metalice. Deși teoria este simplă, mai mulți parametri care influențează densitatea curentului de suprafață a piesei de lucru și rezultatele electrolustruirii, cum ar fi tipul de electrolit, temperatura, concentrația, tensiunea, distanța anod/catod etc. Reglarea precisă a acestor parametri este esențială pentru a obține finisajele de suprafață dorite pentru piese metalice de diferite forme și dimensiuni, cu o atenție deosebită acordată electrolitului de lustruire.

De-a lungul timpului, metalele care necesită electrolustruire au evoluat, oțelurile inoxidabile reprezentând acum 95% din piața actuală, comparativ cu cuprul și aliajele de cupru din trecut. Observațiile empirice au modelat inițial tehnica, dar au fost dezvoltate mai multe teorii pentru a înțelege mecanismele de bază.

Pentru rezultate optime de electrolustruire, suprafețele piesei de prelucrat sunt adesea supuse atât proceselor de pre-tratare, cât și de post-tratare. Evaluarea finisajelor suprafețelor se face prin diverse tehnici microscopice, în funcție de rugozitatea suprafeței și de scara de observație necesară.

Avantajele electrolustruirii includ îmbunătățirea netezimii suprafeței metalice, aspectul, rezistența la coroziune, îndepărtarea contaminanților și rafinarea stratului de oxidare de la suprafață.

Dincolo de scopurile decorative, electrolustruirea și-a găsit aplicații mai largi în diverse industrii, inclusiv în industria alimentară, a băuturilor, farmaceutică, biomedicină, electronică, semiconductoare, auto, aerospațială și multe altele. Pe măsură ce trece timpul, electrolustruirea va continua să joace un rol crucial în prelucrarea diverselor finisaje ale suprafețelor metalice.

2.1.2. Principiul lustruirii chimice

Lustruirea chimică, cunoscută și sub denumirea de atac chimic, este un proces de tratare a suprafeței care utilizează reacții chimice pentru a îndepărta selectiv materialul de pe o suprafață metalică. Scopul lustruirii chimice este de a produce un finisaj asemănător oglinzii, de a elimina defectele de suprafață și de a îmbunătăți vizibilitatea caracteristicilor microstructurale.

Procesarea chimică este extrem de eficientă în îndepărtarea unui strat subțire de material de pe întreaga suprafață imersată a unei piese, rezultând într-o suprafață netedă, fără defecte, care dezvăluie detalii microstructurale pentru analize ulterioare. Aceasta oferă o soluție sigură și rentabilă prin simpla imersare a pieselor în rezervoare speciale. Acest proces îndepărtează eficient particulele, porii, resturile, contaminanții și defectele structurale prezente în stratul de suprafață. În special, realizează rate de îndepărtare mai mari de-a lungul vârfurilor și marginilor, îndepărtând efectiv bavurile până la o dimensiune de aproximativ 0,5 mm. Rata de îndepărtare poate fi ajustată în funcție de concentrația de substanțe chimice din rezervor, temperatura soluției și curentul de pe suprafața piesei. Prin controlul acestor parametri, repetabilitatea procesării poate fi garantată.

Figura 2.1.9 ilustrează procesul de lustruire chimică. Când o suprafață metalică este scufundată într-o soluție de lustruire chimică, se dizolvă în ioni metalici, iar acești ioni difuzează în soluția de lustruire. În situațiile în care metalul se dizolvă cu o viteză mai rapidă decât difuzia ionilor, ionii metalici se acumulează în regiunile concave. După cum este ilustrat în Figura 2.1.9 (a), densitatea cationilor, în primul rând ionilor de hidrogen (H^+), în soluția de lustruire scade în zonele concave. Acest lucru are ca rezultat o suprafață netedă, deoarece rata de gravare la porțiunile convexe este mai mare decât la părțile concave, așa cum se arată în Figura 2.1.9 (b) și (c).

În plus, lustruirea chimică poate îndepărta eficient substanțele care nu au fost eliminate prin curățarea de precizie, așa cum este indicat în Figura 2.1.9 (a) și (b). Aceste substanțe persistente pot include impurități aderente, cum ar fi: straturi de suprafață modificate chimic, solzii de oxidare formați în timpul sudării, așa cum este reprezentat în Figura 2.1.9 (a) – α , β și γ .

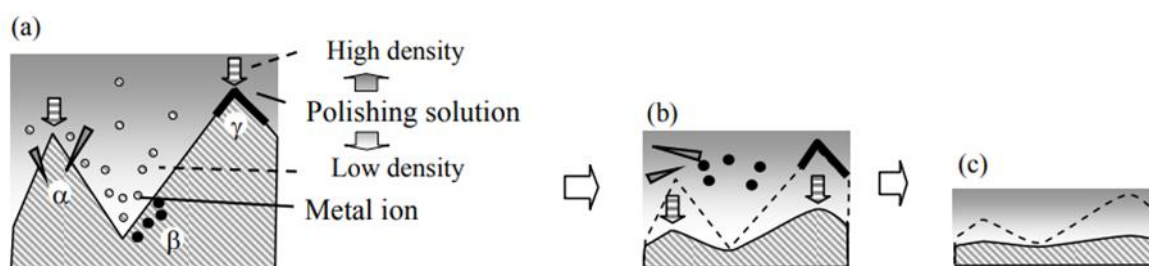


Figura 2.1.9 Reprezentarea principiului de lustruire chimică [2.1.8]

Lustruirea chimică este folosită în mod obișnuit ca o metodă rapidă pentru a obține rezultate satisfăcătoare, în loc să țintească o suprafață fără cusur. Cu toate acestea, în cazurile în care pregătirea unei suprafețe, fără deformare, folosind alte tehnici se dovedește dificilă, în special atunci când aveți de-a face cu metale moi sau când întâmpinați diferite dificultăți, lustruirea chimică poate oferi cea mai potrivită abordare pentru pregătirea preliminară sau finală.

Pentru metalele refractare, lustruirea chimică este adesea efectuată după lustruirea mecanică pentru a îmbunătăți răspunsul la lumină polarizată (de exemplu, pentru Zr, Hf) sau pentru a elimina deformările minore (de exemplu, Nb, Ta, V). Tehnica este concepută pentru a produce o suprafață netedă și plană prin dizolvarea sau gravarea selectivă a unor constituenți microstructurali specifici lăsând pe alții neafecțați. Obținerea ratei de îndepărtare dorite a materialului, a selectivității și a calității suprafeței se bazează pe ajustarea compoziției specifice a agentului de gravare și a parametrilor procesului. Lustruirea chimică reprezintă o metodă valoroasă de curățare a suprafețelor în situații dificile, asigurând rezultate optime pentru diverse aplicații. În figura 2.1.10 este prezentat un sistem electric de lustruire chimică.

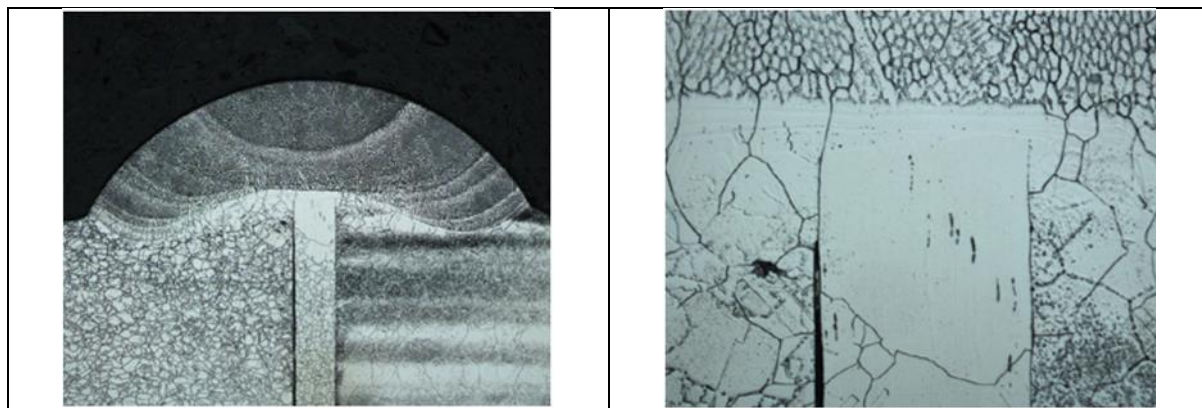


Fig. 2.1.10 Sistemul de lustruire chimică [2.1.9]

Procesele chimice de debavurare și lustruire sunt utilizate în următoarele aplicații: componente individuale în rezervoare de imersie utilizând coșuri sau echipamente de suspendare, țevi și găuri lungi prin pomparea soluției prin componente, piese mici, în principal în vrac, atâta timp cât nu pot deteriora reciproc; fire și benzi prin procesare continuă pe echipamente de tip reel-to-reel sau într-un grup liber, recipiente mari prin pulverizare sau stropire.

Reactanți pe bază de acid

Reactanții pe bază de acid sunt utilizați în mod obișnuit în lustruirea chimică datorită reactivității ridicate și capacității lor de a dizolva o gamă largă de materiale metalice, ca în figura 2.1.11. Exemple de acizi pe bază de acid includ acid azotic (HNO_3), acid clorhidric (HCl) și acid sulfuric (H_2SO_4). Acești reactanți sunt eficienți în îndepărtarea oxidurilor, a depunerilor și a impurităților de suprafață. Agenții de atac pe bază de acid sunt deosebit de utili pentru materiale precum oțel inoxidabil, aliaje de aluminiu și aliaje de titan. Compoziția și concentrația agenților de gravare pe bază de acid pot fi ajustate pentru a obține diferite niveluri de selectivitate și finisaje de suprafață.



<p>Secțiune lustruită mecanic și atacată electrolytic prin sudare cu gaz inert Tung-sten micropulse din aliaj Inconel 625. Atac în acid oxalic 10%; 10 volți timp de 10 secunde. Câmp luminos, 2,5x.</p>	<p>Același material. Microstructura din sudare constă dintr-o soluție solidă primară și o fază secundară fină irezolvabilă. Secțiunea arată îngroșarea pronunțată a grăunților materialului de bază în apropierea feței de fuziune. Câmp luminos, 10x.</p>
--	--

Fig. 2.1.11 Aliaj Inconel 625 înainte și după atacul chimic [2.1.10]

Reactanți alcalini

Reactanții alcalini sunt adesea folosiți pentru lustruirea chimică a metalelor și aliajelor. Hidroxidul de sodiu (NaOH) și hidroxidul de potasiu (KOH) sunt reactanți obișnuiți pe bază de alcaline folosiți în metalografie. Reactanții alcalini sunt eficienți în îndepărtarea straturilor de oxid și pot oferi suprafețe netede și strălucitoare. Reactanții alcalini sunt potriviți pentru materiale precum oțelul inoxidabil, ca în figura 2.1.12, cuprul, alamă și anumite aliaje de aluminiu. Concentrația și temperatura reactanților alcalini pot fi ajustate pentru a controla viteza de atac și selectivitatea.

	
<p>Interfață sudură-metal de bază pe oțel inoxidabil Duplex. Pregătite mecanic; gravat electrolytic în soluție apoasă de hidroxid de sodiu 40%. Câmp luminos, 25x.</p>	<p>Același material. Microstructura de sudură constă în principal din ferită delta și austenită. Câmp luminos, 200x.</p>

Fig. 2.1.12 Oțel inoxidabil duplex înainte și după atacul chimic [2.1.10]

Reactivii mixți

Reactivii mixți constau dintr-o combinație de compuși chimici, oferind o gamă mai largă de capacitate de atac în comparație cu agenții individuali de atac acizi sau alcalini. Reactivi mixți pot oferi o selectivitate îmbunătățită și rate controlate de îndepărtare a materialului pentru constituenți microstructurali specifici, așa cum este prezentat în figura 2.1.13. Un exemplu este reactivul Kroll, care este un amestec de acid azotic și acid fluorhidric. Este folosit în mod obișnuit pentru lustruirea chimică a titanului și aliajelor de titan, oferind un finisaj de suprafață strălucitor și reflectorizant.

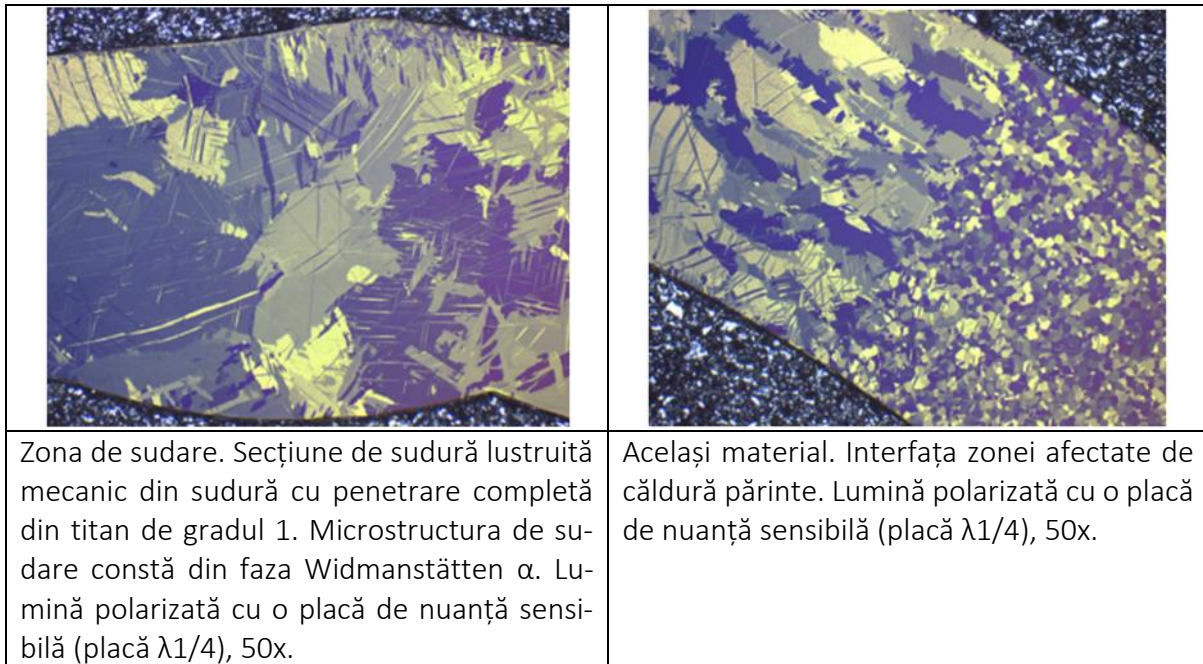


Fig. 2.1.13 Titan de gradul 1 înainte și după atacul chimic [2.1.10]

Reactivi speciali pentru aliaje specifice

Anumite aliaje pot necesita agenți de atac speciali adaptați microstructurilor și compozițiilor lor unice. Acești agenți de atac speciali sunt proiectați pentru a dezvălui selectiv caracteristici sau faze microstructurale specifice. Exemplele includ Nital (figura 2.1.14), care este un amestec de acid azotic și etanol utilizat pentru atacul oțelurilor și reactivul Beraha, utilizat pentru gravarea cuprului și aliajelor de cupru.



Fig. 2.1.14 Oțel carbon înainte și după atacul chimic [2.1.10]

Temperatura și timpul joacă un rol important în lustruirea chimică. Viteza de gravare depinde foarte mult de temperatura agentului de gravare. Temperaturile mai ridicate au ca rezultat, în general, rate mai rapide de îndepărtare a materialului, deși temperaturile excesiv de ridicate pot duce la gravarea necontrolată și neuniformă. Timpul de gravare este un alt parametru critic

care afectează gradul de îndepărtare a materialului și finisarea suprafeței. Timpi mai lungi de gravare pot duce la o îndepărtare sporită a materialului și la suprafețe mai netede. Cu toate acestea, timpul de gravare trebuie controlat cu atenție pentru a evita supragravarea și îndepărtarea excesivă a caracteristicilor microstructurale dorite. Optimizarea parametrilor de temperatură și timp de gravare este crucială pentru a obține finisajul dorit al suprafeței, selectivitatea și conservarea detaliilor microstructurale.

În general, o probă de prelucrat este scufundată în agentul de atac sau tamponată cu soluția, până când se obține o lustruire, apoi este gravată sau spălată și uscată, după caz. Reactivii sunt listați în Tabelul 2.1.5 [2.1.11].

Tabel 2.1.5: Reactivi de lustruire chimică

Metal	Reactiv*	Cantitate	Timp	Temp. (°C)	Observații
Aluminiu și aliaje	Acid sulfuric (1,84)	25 ml	30 s-2 min	85	Foarte util pentru studiul aliajelor care conțin compuși intermetalici, de exemplu, aliaje Al-Cu, Al-Fe, Al-Si
	Acid ortofosforic	70 ml			
	Acid azotic	5 ml			
Beriliu	Acid sulfuric (1,84)	1 ml	Câteva minute	49-50	Rata de îndepărtare a metalului este de aprox. 1 um/min-1. Filmul pasiv format poate fi îndepărtat prin imersare timp de 15-30 s în acid sulfuric 10 %
	Acid ortofosforic (1,75)	14 ml			
	Acidul cromic	20 g			
	Apă	100 ml			
Cadmium	Acid azotic (1,4)	75 ml	5-10 s	20	Se folosesc cicluri de scufundare timp de câteva secunde, urmate
	Apă	25 ml			



					imediat de spălare într-un jet rapid de apă până se obține o suprafață strălucitoare.
Cupru	Acid azotic	33 ml	1-2 min	60-70	Finisajul este mai bun atunci când oxidul de cupru este absent
	Acid ortofosforic	33 ml			
	Acid acetic glacial	33 ml			
Aliaje de cupru	Acid azotic	30 ml	1-2 min	70-80	Proba trebuie imersată
	Acid clorhidric	10 ml			
	Acid ortofosforic	10 ml			
	Acid acetic glacial	50 ml			
Aliaje de cupru-zinc	Acid azotic (1,40)	80 ml	5 s	40	Folosiți perioade de imersie de 5 s urmate imediat de spălare într-un jet rapid de apă. Ușoare variații în compoziție sunt necesare pentru alamele α - β și β - γ pentru a preveni atacul diferențial. La aliajele β - γ , se formează o peliculă mată și aceasta poate fi îndepărtată prin imersare într-o soluție saturată de acid cromic în acid azotic
	Apă	20ml			



					fumos timp de câteva secunde, urmată de spălare.
Germaniu	Acid fluorhidric +	15 ml	5-10 s	20	
	Acid azotic	25 ml			
	Acid acetic glacial	15 ml			
Hafniu	Acid azotic	45 ml	5-10 s	20	Pentru zirconiu
	Apă	45 ml			
	Acid fluorhidric +	8-10 ml			
Fier	Acid azotic	3 ml	2-3 min	60-70	La suprafață se formează un strat vâcos maro dens; stratul este solubil în soluție. Oțelurile cu conținut scăzut de carbon pot fi, de asemenea, lustruite, dar cementitul este atacat în mod preferențial.
	Acid fluorhidric (40%)+	7 ml			
	Apă	30 ml			
Fier și oțel	Apă distilată	80 ml	15 min	35	Soluția trebuie preparată proaspăt înainte de utilizare. Este necesară spălarea atentă înainte de tratament. Se obține o microstructură similară cu cea produsă prin lustruire mecanică,
	Acid oxalic (100 g/l)	28 ml			
	Peroxid de hidrogen (30%)	4 ml			



					urmată de gravare cu nital.
Plumb	Peroxid de hidrogen (30%)	80 ml	Perioade de 5-10 s	20	Utilizați reactivul lui Russel pentru a verifica dacă orice strat turnat a fost îndepărtat înainte de polizarea finală în acest reactiv.
	Acid acetic glacial				
Magneziu	Acid azotic fumigen	75 ml	Perioade de 3 s	20	Reacția ajunge la o rapiditate aproape explozivă după aproximativ un minut, dar dacă se lasă să continue, încetează după câteva minute, lăsând o suprafață lustruită pregătită pentru examinare.
	Apă	25 ml			
Nichel	Acid azotic (1,40)	30 ml	1/2 – 1 min	85-95	Această soluție oferă o lustruire foarte bună
	Acid sulfuric (1.84)	10 ml			
	Acid ortofosforic (1,70)	10 ml			
	Acid acetic glacial	50 ml			
Siliciu	Acid azotic (1,40)	20 ml	5-10 s	20	Se folosește și amestec 1:1



	Acid fluorhidric (40%)+	5 ml			
Tantal	Acid sulfuric (1,84)	50 ml	5-10 s	20	Soluția este utilă pentru pregătirea suprafețelor înainte de anodizare
	Acid azotic (1,40)	20 ml			
	Acid fluorhidric (40%)+	20 ml			
Titan	Acid fluorhidric (40%)+	10 ml	30-60 s	-	Ștergeți până când este satisfăcător.
	Peroxid de hidrogen (30%)	60 ml			
	Apă	30 ml			
	Acid fluorhidric (40%)+	10 ml			Câteva secunde până la câteva minute în funcție de aliaj
	Acid azotic (1,40)	10 ml			
	Acid lactic (90%)	30 ml			
Zinc	Acid azotic fumant	75 ml	5-10 s	20	Pentru cadmiu
	Apă	10 ml			
	Trioxid de crom	20 g	3-30 min	20	Soluția trebuie înlocuită frecvent
	Sulfat de sodiu	1.5 g			
	Acid azotic (1,40)	5 ml			
	Apă	100 ml			
Zirconiu (de asemenea hafniu)	Fluorura acidă de amoniu	10 g	1/2 -1 min	30-40	Viteza de dizolvare variază semnificativ în funcție de temperatură și este de aproximativ 20-60 μm min-
	Acid azotic (1,40)	40 ml			
	Acid flousilicic	20 ml			
	Apă	100 ml			

					1 în intervalul dat
	Acid azotic (1,40)	40-45	5-10 ml	-	Reacția este viguroasă la interfața aer/soluție și, prin urmare, proba este ținută aproape de suprafața lichidului. Peroxidul de hidrogen (30%) poate fi folosit în locul apei.
	Apă	40-45 ml	Se repetă		
	Acid fluorhidric (40%)+	10-15 ml			

* Acizii sunt concentrați, dacă nu se indică altfel.

Acidul fluorhidric produce leziuni osoase ireversibile și prezintă o serie de alte pericole. Chiar și soluțiile de acid fluorhidric diluate trebuie manipulate cu mare grijă. Rețineți că acidul fluorhidric atacă sticla de laborator.

Compoziția chimică a agentului de gravare determină tipul de reacții care au loc în timpul lustruirii chimice. De exemplu, reactivii pe bază de acizi implică de obicei donarea de protoni și formarea de săruri metalice solubile. Reactivii pe bază de alcaline, pe de altă parte, se bazează pe reacțiile ionilor de hidroxid pentru a dizolva suprafața. Mecanismele de pasivizare și inhibiție a suprafeței pot influența, de asemenea, procesul de gravare. Aceste fenomene implică formarea de straturi de oxizi protectoare sau prezența inhibitorilor care încetinesc sau opresc reacția de atac în anumite regiuni. Controlul acestor mecanisme este esențial pentru obținerea unei îndepărtări uniforme a materialului și a finisării dorite a suprafeței.

Mecanisme de lustruire chimică

Mecanismele de lustruire chimică implică dizolvarea sau gravarea selectivă a diferiților constituenți microstructurali pe baza reactivității lor cu agentul de gravare. Această selectivitate depinde de factori precum orientarea cristalografică, compoziția chimică și defectele de suprafață.

În unele cazuri, gravatorul atacă în mod preferențial limitele de grăunți sau alte planuri cristalografice, ducând la îndepărtarea materialului din aceste zone. Alți agenți de gravare pot viza faze sau constituenți specifici, rezultând dizolvarea lor preferențială. Selectivitatea este influențată de compoziția agentului de gravare, temperatură și parametrii procesului.

a.Examinarea microstructurii: Lustruirea chimică este utilizată pe scară largă pentru examinarea microstructurii. Oferind o suprafață netedă și lustruită, permite observarea și analiza clară a caracteristicilor microstructurale, inclusiv grăunților, fazele, incluziunile și precipitații. Examinarea microstructurii facilitată de lustruirea chimică ajută la înțelegerea compoziției materialului, mărimea grăunților, morfologia grăunților și distribuția fazelor. Este

important pentru evaluarea efectelor prelucrării, tratamentului termic și alii asupra microstructurii și proprietăților mecanice ulterioare.

b. Determinarea mărimii grăunților: Lustruirea chimică joacă un rol important în determinarea mărimii grăunților din materialele metalice. Prin dezvăluirea clară a limitelor grăunților, permite măsurarea și analiza precisă a mărimii grăunților folosind microscopia optică sau electronică. Determinarea granulometriei este esențială pentru evaluarea proprietăților mecanice ale materialului, cum ar fi rezistența, duritatea și rezistența la oboseală.

c. Analiza reliefului suprafeței: Lustruirea chimică este folosită pentru analiza reliefului suprafeței, în special în materiale cu microstructuri complexe. Prin îndepărtarea selectivă a materialului și îmbunătățirea vizibilității caracteristicilor suprafeței, permite examinarea variațiilor de relief ale suprafeței, cum ar fi undulațiile suprafeței, modelele de deformare și textura. Analiza reliefului suprafeței facilitată de lustruirea chimică ajută la înțelegerea mecanismelor de deformare a suprafeței, a eficacității tratamentelor de suprafață și a impactului proceselor mecanice și termice asupra morfologiei suprafeței.

d. Detectarea particulelor în a doua fază: lustruirea chimică este eficientă pentru detectarea și analiza particulelor în faza a doua din materialele metalice. Prin dizolvarea preferențială a fazei matricei, se îmbunătățește vizibilitatea și contrastul particulelor din a doua fază, permițând identificarea, măsurarea și caracterizarea acestora. Detectarea particulelor din a doua fază facilitată de lustruirea chimică oferă înțelegere cu privire la distribuția, dimensiunea, morfologia și fracția de volum a particulelor din a doua fază. Oferă informații valoroase asupra rezistenței, tenacității, rezistenței la uzură și a altor proprietăți mecanice ale materialului.

e. Lustruirea chimică este o tehnică versatilă cu diverse aplicații în metalografie. Permite examinarea microstructurii, determinarea mărimii grăunților, analiza reliefului suprafeței și detectarea particulelor în a doua fază. Prin îndepărtarea selectivă a materialului și dezvăluirea caracteristicilor microstructurale, lustruirea chimică contribuie la înțelegerea și caracterizarea materialelor metalice.

2.1.3. Atacul colorat. Definiție și scop

Introducere în atacul colorat

Atacul colorat, cunoscută și sub denumirea de atac cu nuanță sau colorare, se referă la procesul de colorare a unor constituenți microstructurali specifici dintr-o probă de metal, folosind agenți de atac specializați. Scopul atacului colorat este de a spori vizibilitatea și contrastul diferitelor faze, incluziuni, grăunți și alte caracteristici microstructurale. Prin colorarea selectivă a acestor constituenți, tehnica permite identificarea, caracterizarea și analiza lor.

Atacul colorat este o tehnică utilizată în metalografie pentru a colora selectiv diferiți constituenți microstructurali dintr-un material metalic. Prin folosirea de decapant specifici, tehnica îmbunătățește vizibilitatea și contrastul diferitelor faze, incluziuni și grăunți, așa cum se arată în figura 2.1.15.

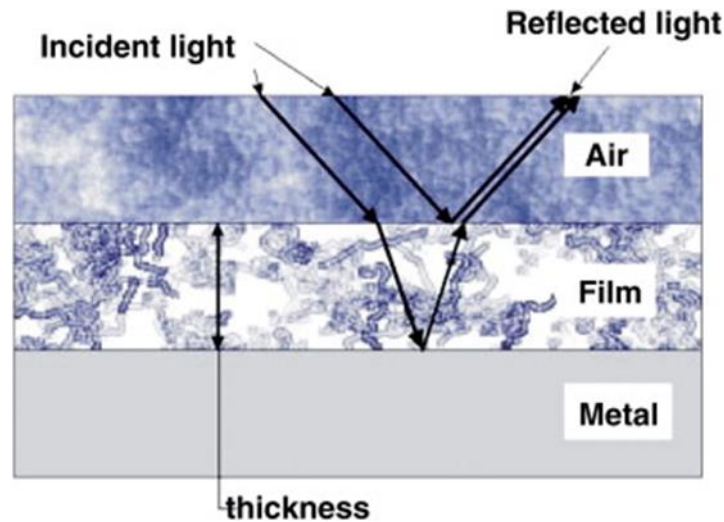


Fig. 2.1.15 Atacul colorat: Soluțiile de atac sunt manipulate chimic pentru a obține o colorare precisă prin formarea unui strat stabil, de obicei de 0,04–0,5 μm gros pe suprafața probei. Aceste pelicule subțiri constau din oxizi, sulfuri sau compuși complecși de molibdat și prezintă o gamă de culori atribuite efectelor de interferență [2.1.12]

Atacul color joacă un rol semnificativ în analiza și caracterizarea materialelor, oferind informații valoroase despre caracteristicile microstructurale ale acestora.

Mecanisme de atac colorat

Interacțiunea reactivilor cu constituenții microstructurali

Mecanismele de atac colorat implică interacțiunea selectivă a reactivilor cu constituenți microstructurali specifici, așa cum se arată în figura 2.1.16. Diferiți agenți de atac prezintă afinități variabile față de diferite faze, incluziuni sau grăunți, rezultând sub forma unor culori distincte.

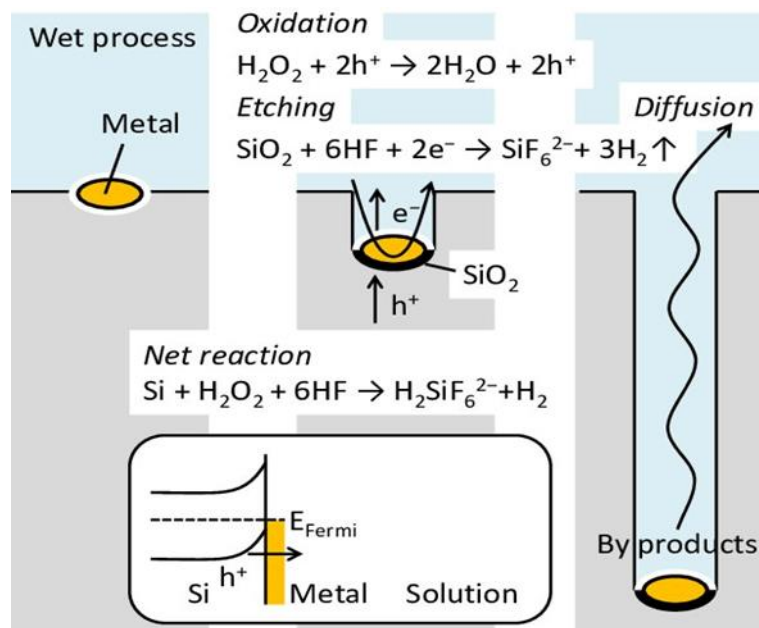


Fig. 2.1.16 Mecanism simplificat pentru atacul chimică asistată de metal (MaCE) a siliciului în soluție mixtă de HF și H₂O₂ [2.1.13].

Agentii pot reacționa diferit cu constituenții din cauza unor factori precum compoziția chimică, orientarea cristalografică și starea suprafeței. Aceste interacțiuni pot duce la formarea de compuși sau complecși colorați pe suprafața caracteristicilor microstructurale, făcându-le mai vizibile și mai distinse.

Principiile formării culorii

Culoarea apare din cauza absorbției, reflexiei sau interferenței unor lungimi de undă specifice ale luminii de către compușii sau complecșii colorați formați pe suprafață, așa cum se arată în figurile 2.1.17 (stânga) și 2.1.18 (dreapta).

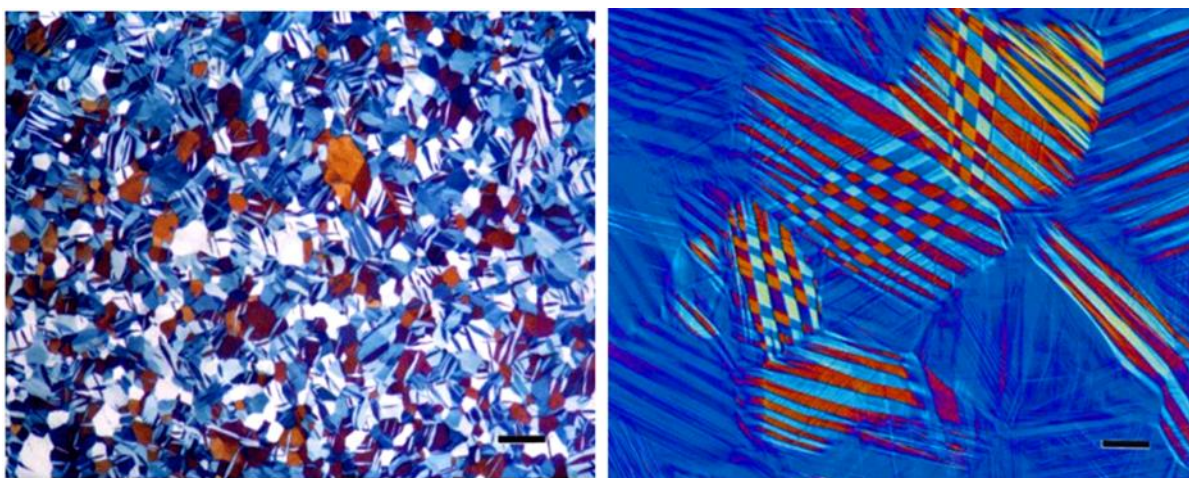


Fig. 2.1.17 (stânga) și 2.1.18 (dreapta): Structură granulară de Zr de înaltă puritate (stânga) care a fost prelucrată la cald și trasă la rece (de remarcat procedee mecanice asemănătoare) și văzută în lumină polarizată și din Span-aur (Au – 19Cu-5Al) care a fost lustruit și ciclat prin efectul de memorie a formei pentru a produce martensită și iluminare cu interferență diferențială Nomarski a fost folosită pentru a vizualiza deformarea suprafeței din cauza reacției de forfecare la suprafața liberă. Barele de mărire sunt de 100 și respectiv 50 μm [2.1.14].

Culorile produse de reactivi de culoare (nuanță) sunt vizibile sub iluminare cu câmp luminos și, în multe cazuri, îmbunătățirea suplimentară este obținută folosind lumina polarizată. Culorile sunt dezvoltate prin interferență în același mod ca și cu nuanțarea la căldură sau depunerea în vid. După cum s-a menționat, culoarea este determinată de grosimea filmului, de obicei în secvența galben, roșu, violet, albastru și verde atunci când este vizualizată cu lumină albă. Cu sistemele anodice, pelicula se formează numai peste faza anodică, dar grosimea sa poate varia în funcție de orientarea cristalografică a fazei. Pentru sistemele catodice, deoarece grosimea filmului peste faza catodică este în general consistentă, este produsă o singură culoare, care va varia pe măsură ce filmul crește în timpul gravării. Prin urmare, pentru a obține aceeași culoare de fiecare dată, durata de gravare trebuie să fie constantă. Acest lucru poate fi realizat prin cronometrarea gravării și observând culoarea macroscopică a probei în timpul colorării.

Factori care afectează dezvoltarea culorii

Mai mulți factori pot influența dezvoltarea culorii în atacul colorat. Acestea includ compoziția și concentrația reactivului de atac, temperatura, timpul de gravare și pregătirea suprafeței probei, ca în figurile 2.1.19 și 2.1.20. În plus, prezența elementelor de aliere, a impurităților sau a orientărilor cristalografice specifice poate afecta intensitatea culorii și contrastul.

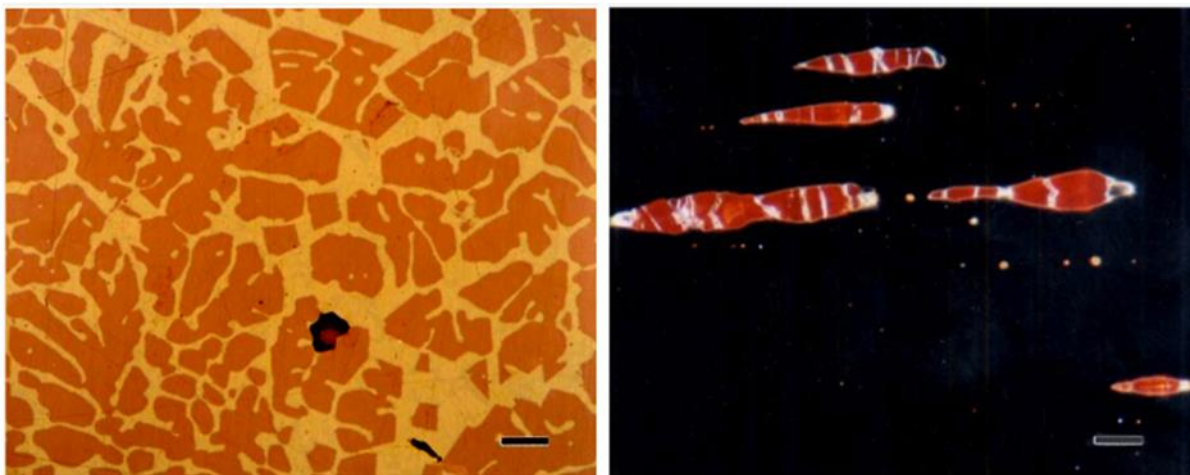


Fig. 2.1.19 (stânga) și 2.1.20 (dreapta) care arată culoarea naturală roșiatică-violet a intermetalicului AuAl₂ (stânga) în câmp luminos și culoarea roșu rubiniu caracteristică a oxidului cupros la iluminare în câmp întunecat (cupru arsenic dur specimen). Barele de mărire sunt de 50 și respectiv 10 μm [2.1.14].

Înțelegerea acestor factori este crucială pentru obținerea unei dezvoltări optime a culorii și a contrastului în atacul colorat. Controlul și optimizarea atentă a parametrilor de gravare sunt necesare pentru a obține rezultate fiabile și reproductibile.

Atacul color este deosebit de utilă atunci când caracteristicile microstructurale de interes nu se disting clar în proba negravată. Permite observarea și examinarea îmbunătățite la microscopie optică sau electronică, facilitând o mai bună înțelegere a compoziției, structurii și proprietăților materialului.

Multe metale gravate cu reactivi standard pentru a dezvălui limitele de granulație adesea dezvăluie doar un procent ridicat din aceste limite, în loc de toate limitele. În schimb, reactivii colorați dezvăluie complet structura granulară. În cazul metalelor cu gemeni proveniți din recristalizare, poate fi foarte dificil să se evalueze dimensiunea granulei atunci când un agent de gravură standard dezvăluie o parte din limitele granulei și ale gemenilor. De fapt, poate fi destul de dificil să se facă o măsurare precisă a dimensiunii granulei, chiar și manual, cu un astfel de specimen, deoarece distingerea între limitele granulei și ale gemenilor (aceștia din urmă trebuie ignorați în măsurători) nu este simplă. Cu toate acestea, cu o structură microscopica colorată este relativ ușor să se separe limitele granulei de cele ale gemenilor, cel puțin manual. Mai mult, filmele cresc în funcție de orientarea cristalină. Prin urmare, se poate detecta orice orientare cristalografică preferată prin îngustimea intervalului de culoare prezent. O gamă largă de culori este prezentă într-un model aleatoriu în figura 2.1.21.

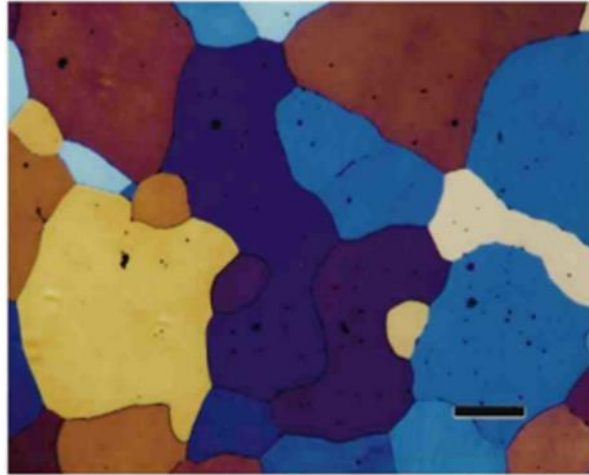


Fig. 2.1.21 Orientarea cristalului de aluminiu anodizat super-pur este evidențiată cu reactivul Barker (30 Vdc, 2 minute). Magnificarea este 200 μm [2.1.14]

Orientarea cristalului anodizat din aluminiu super-pur este aleatorie. Dacă în grăunții este prezentă o gamă restrânsă de culori, atunci este evidențiată o orientare preferată. Compozițiile de atac cu nuanțe sunt date la sfârșitul capitoului. Pregătirea probei trebuie să fie mai bună atunci când se utilizează metode color, comparativ cu metodele alb-negru, deoarece filmele crescute epitaxial sunt sensibile la deteriorările reziduale induse de preparare care nu au fost eliminate. Acest nivel de pregătire este necesar în munca de analiză a imaginii și poate fi obținut cu ușurință de un metalograf experimentat, cu echipamentul adecvat. Lustruirea electrolitică nu este necesară pentru a obține suprafețe fără deteriorare. Cei mai obișnuiți agenți de atac a nuanței sunt cei care depun o peliculă de interferență pe bază de sulfură pe probă, așa cum se arată în figurile 2.1.22 și 2.1.23. Aceștia sunt cei mai cunoscuți reactivi de nuanță și, de obicei, cele mai ușor de utilizat.

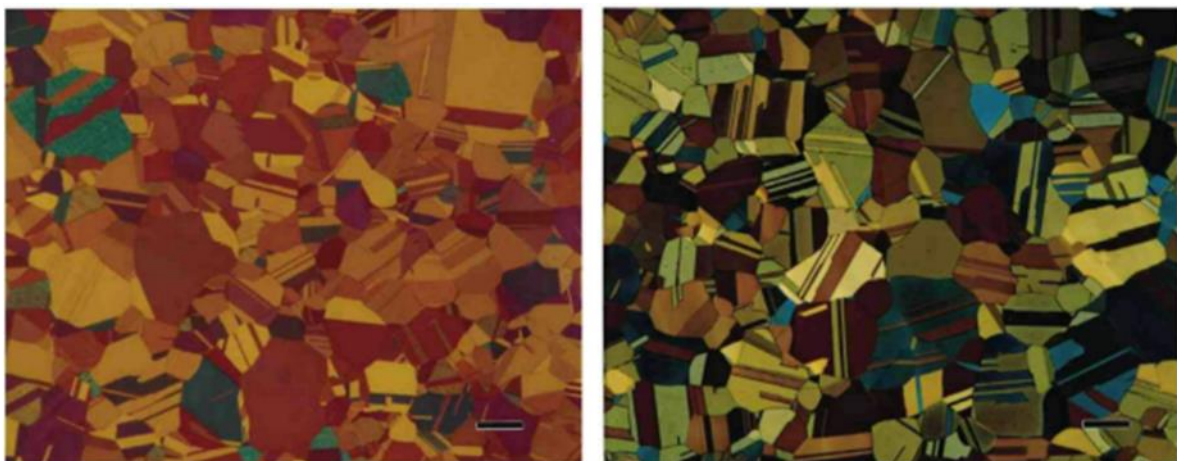


Fig. 2.1.22 și 2.1.23: Structura cu grăunți asemănători FCC din alamă cartuș, Cu - 30% Zn, după reducerea la rece și recoacere completă, nuanță gravată cu reactivi Klemm I (stânga) și Klemm III (dreapta) și vizualizate cu polarizare lumină plus nuanță sensibilă. Magnificarea este de 200 μm [2.1.14]



Klemm și Beraha au dezvoltat cei mai folosiți agenți de atac pe bază de sulfură folosind tiosulfat de sodiu, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ și metabisulfid de potasiu, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$. Klemm I, II, III (Figurile 2.1.22 și 2.1.23) și unul dintre reactivii Berahas utilizează ambele ingrediente (Figura 2.1.24), în timp ce Beraha recomandă o gamă de concentrații de HCl utilizate cu metabisulfid de potasiu (Figura 2.1.25) pentru atacul unei varietăți de aliaje pe bază de fier.

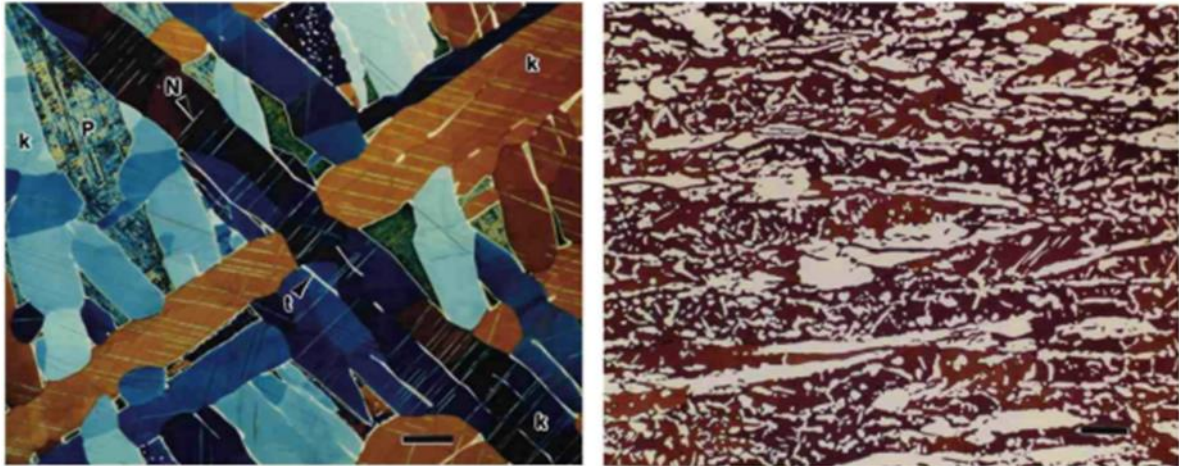


Fig. 2.1.24 și 2.1.25: Structura cu grăunți fini de octaedrită a meteoritului Gibeon (stânga) revelată cu reactiv Berahas (100 ml apă, 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ și 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) și ferită în o placă de oțel inoxidabil duplex 7 Mo PLUS revelată folosind reactiv Berahas (85 ml apă, 15 ml HCl, 1 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Magnificarea este de 500, respectiv 50 μm [2.1.14].

Acești agenți de atac pot fi utilizați pentru a colora ferita și martensita în fontă, carbon și oțeluri slab aliate. Reactivii pe bază de HCl variază foarte mult în concentrație și pot fi utilizați pentru a colora structurile grăunților ale oțelurilor inoxidabile (Figura 2.1.26), aliajelor pe bază de Ni și Co. Metabisulfitul

de sodiu a fost utilizat într-un număr de concentrații, de la aproximativ 1 până la 20 g la 100 ml apă și este un atac sigur, fiabil, util pentru fier și oțel (Figura 2.1.27).

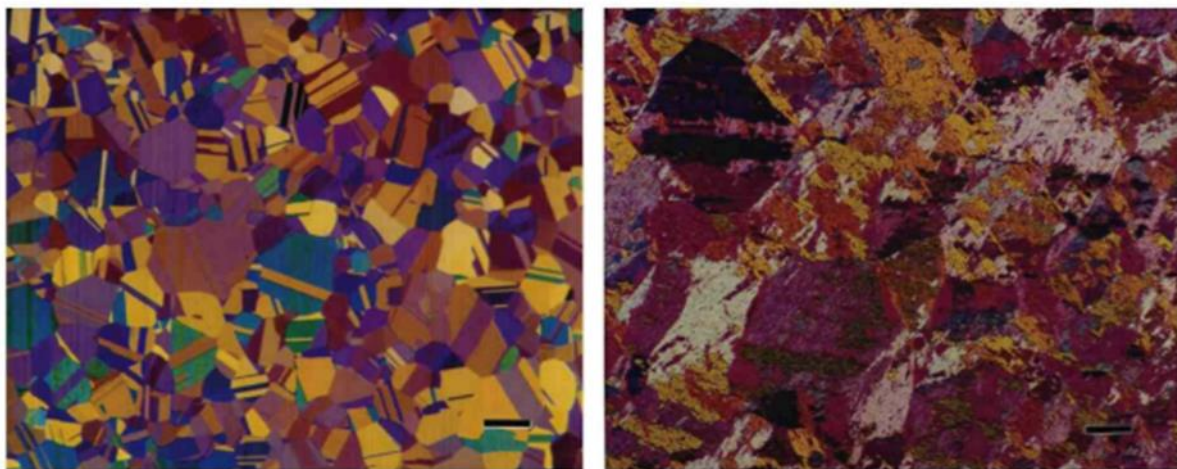


Fig. 2.1.26 și 2.1.27: Structura de grăunți asemănători FCC ai oțelului inoxidabil de calitate Heading Custom Flo 302 dezvăluită folosind reactivul Berahas B1 și structura grăunților martensitici de tip lamelar al oțelului ultra-rezistent Aer-Met 100 suprasuprafață (1093 °C)



dezvăluită folosind metabisulfit de sodiu 10%. Ambele văzute cu lumină polarizată plus nuanță sensibil. Magnificarea este de 100 μm [2.1.14]

Beraha a dezvoltat, de asemenea, agenți de atac pe bază de acid sulfamic, un acid organic slab, care nu a fost folosit prea mult, deși sunt destul de folositori, de încredere și ușor de folosit. Reactivii pe bază de acid sulfamic sunt aplicabili pentru fontă, oțeluri cu conținut scăzut de carbon și aliaje, oțeluri pentru scule și oțeluri inoxidabile martensitice (Figura 2.1.27).

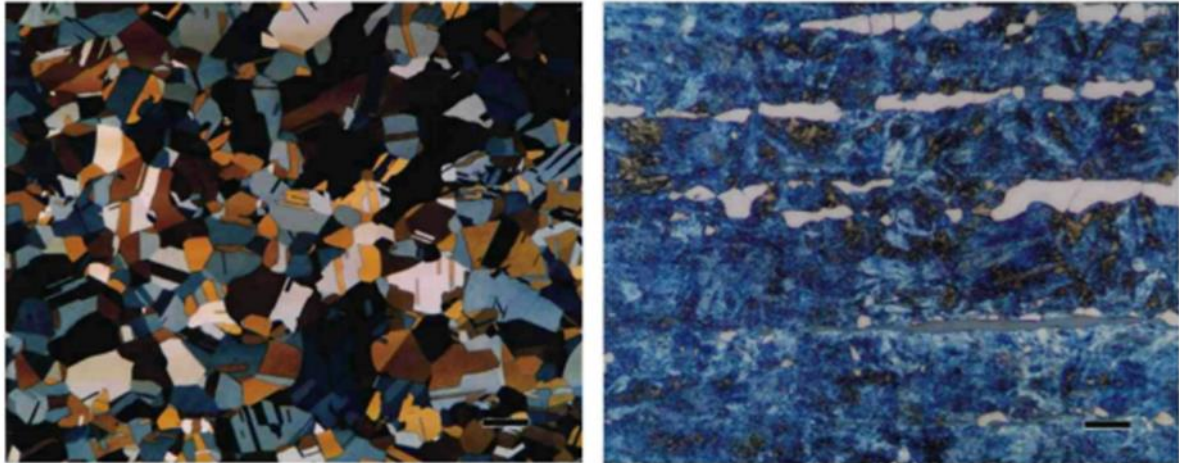


Fig. 2.1.27 și 2.1.28: Structura de grăunți FCC asemănători în Fe-39% Ni dezvăluită de reactivul de acid sulfamic al lui Beraha (stânga) și structura de grăunți de martensită temperată a oțelului inoxidabil martensitic Carpenter Project 70 tip 416 dezvăluită cu reactivul CdS al lui Beraha (dreapta). Boabele albe sunt ferită delta, iar incluziunile gri sunt sulfuri. Vizualizat cu lumină polarizată plus nuanță sensibilă. Magnificarea este de 100, respectiv 200 μm . [2.1.14]

Beraha a dezvoltat, de asemenea, doi reactivi de nuanță destul de specializate care depun pelicule de sulfură de cadmiu (Figura 2.1.28) sau de sulfură de plumb (Figura 2.1.29) pe suprafețele oțelurilor și a 4 aliaje pe bază de cupru. Aceste două tipuri reactivi sunt destul de utili, deși laborioase de realizat.

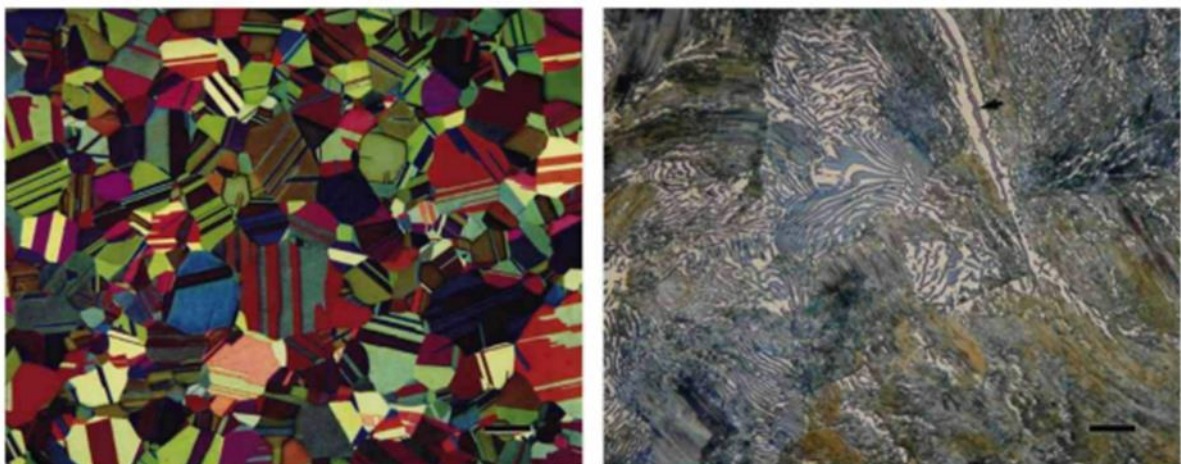


Fig. 2.1.29 și 2.1.30: Micrografie din alamă cu cartuș prezentată în figurile 2.1.22 și 2.1.23 nuanță atacată cu reactiv Beraha PbS (stânga) și cementită într-un aliaj binar Fe-1% C laminat



la cald colorat cu molibdat de sodiu Beraha reactiv (dreapta). Magnificarea este de 200, respectiv 20 μm [2.1.14].

Reactivul său CdS este util pentru oțelurile carbon și aliaje, oțelurile de scule și oțelurile inoxidabile feroase, martensitice și precipitabil durabile, în timp ce reactivul PbS face o treabă excelentă pe aliajele pe bază de cupru și poate fi folosit pentru a colora sulfidele din oțeluri în alb (specimenul este pre-atacat cu nital și atacul colorează matricea întunecată, astfel încât sulfidele albe sunt vizibile). Beraha a dezvoltat, de asemenea, doi agenți de colorare care utilizează ioni de molibdat în acid azotic. Ei colorează cementitul în oțeluri (Figura 2.1.30).

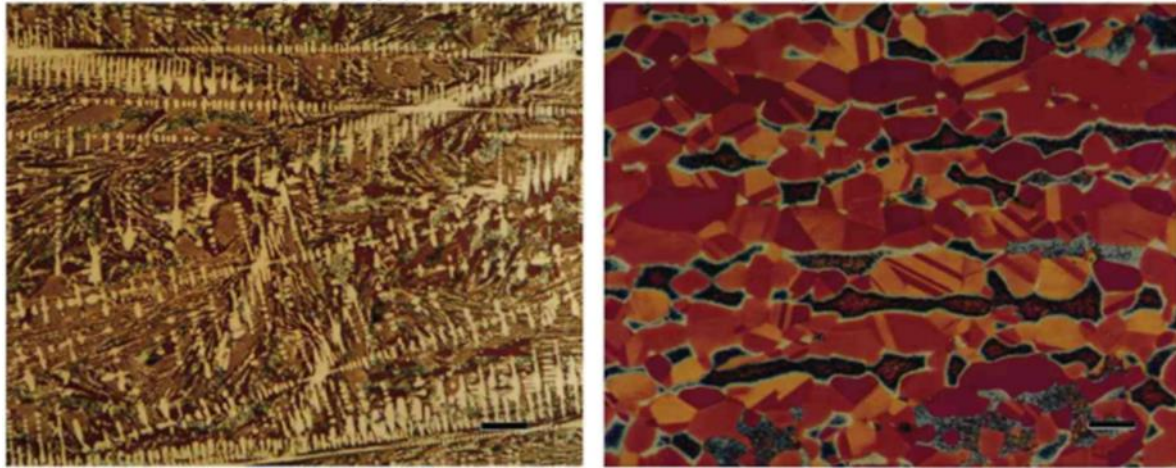


Fig. 2.1.31 și 2.1.32: Cementită în suprafața turnată la rece a fierului cenușiu gravată cu reactiv de acid selenic Beraha pentru fontă (stânga) cu fază alfa și beta cu FCC asemănătoare (cu pete și conturate) în Cu-40 % Zn și dezvoltată folosind reactivul acid selenic al lui Beraha pentru aliaje de cupru. Magnificarea este de 50, respectiv 20 μm [2.1.14].

El a dezvoltat, de asemenea, reactivi de nuanță care depun seleniu elementar pe suprafața oțelurilor (Figura 2.1.31), aliaje pe bază de nichel și aliaje pe bază de cupru (Figura 2.1.32). Există o serie de alți agenți de atac a nuanței care au fost dezvoltați de o varietate de metalografi. Lichtenegger și Bloch, de exemplu, au dezvoltat un reactiv neobișnuit care va colora austenita (Figura 2.1.33) în oțelurile inoxidabile duplex, mai degrabă decât ferita (cum fac aproape toate celelalte).

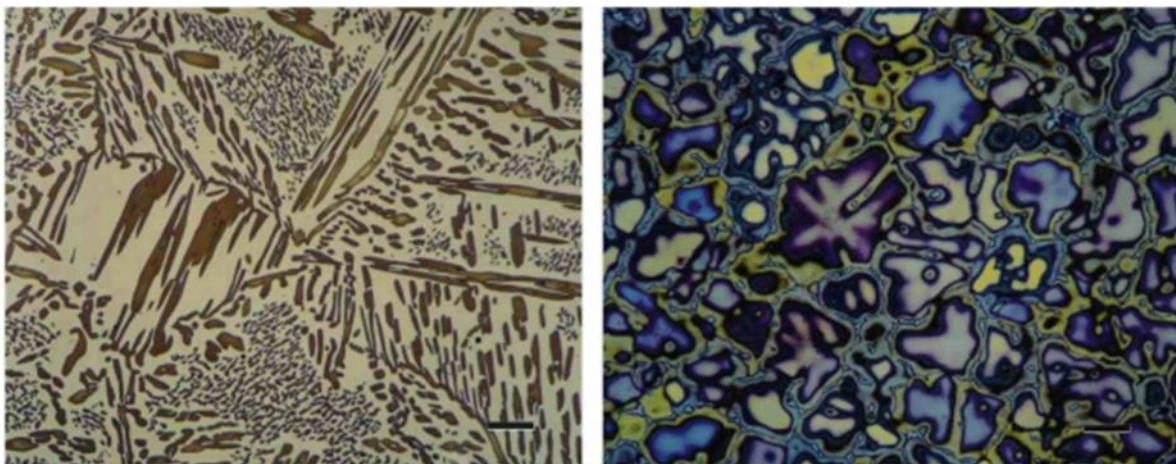




Fig. 2.1.33 și 2.1.34: Austenită colorată în oțel inoxidabil duplex turnat grad 5A ASTM890 cu reactivul LBI (stânga) și structura grăunților turnați de aluminiu 206 dezvăluite utilizând reactivul Week pentru aliaje de Al (dreapta). Magnificarea este de 100 și 50 μm , respectiv [2.1.14].

Week a dezvoltat o serie de reactivi de nuanță, utilizând în același timp multe dintre ele în cercetare. Mai multe au fost dezvoltate pentru a colora aluminiu (Figura 2.1.34) sau aliaje de titan (Figura 2.1.35).

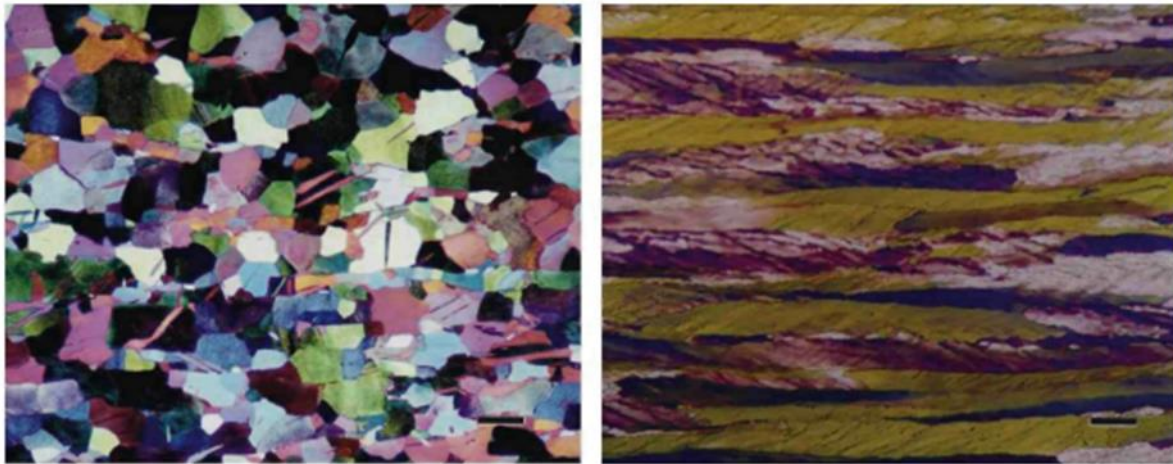


Fig. 2.1.35 și 2.1.36: Structura granulară a CP Ti laminat (ASTM F67, grad 2) care conține grăunți asemănători (stânga) au fost atacați cu reactiv Week's modificat și molibden pur laminat la rece (dreapta) colorat cu reactiv dezvoltat de Laboratorul Național Oak Ridge. Magnificarea este de 100, respectiv 20 μm [2.1.14]

În fiecare caz, este mai ușor să dezvoltați o culoare bună cu aliajele turnate decât cu aliajele forjate. S-au găsit doi agenți de atac folositori pentru colorarea fazei teta, AlCu_2 , în aliajele de Al-Cu; Lienard a dezvoltat unul dintre cele mai ușor de utilizat. Au fost dezvoltați mai mulți agenți de atac de culoare pentru molibden (Figura 2.1.36) și pentru wolfram [2.1.15].

Aplicații ale atacului colorat

În contextul metalurgiei și îmbinărilor sudate, atacul colorat este o tehnică valoroasă care poate fi utilizată pentru aplicații specifice:

Analiza defectelor de sudură: atacul colorat poate fi folosit pentru a dezvălui și evidenția defecte ale îmbinărilor sudate, cum ar fi porozitatea, fisurile, incluziunile și lipsa de fuziune. Prin utilizarea unor elemente de atac specifice, pot fi subliniate diferite caracteristici de sudură, ajutând la evaluarea calității și integrității sudurii.

Examinare microstructurală: atacul colorat permite examinarea microstructurii sudurii și a zonei afectate de căldură (HAZ). Diferenții constituenți microstructurali pot reacționa diferit la diferiți agenți de atac, permițând cercetătorilor și inspectorilor să facă distincția între faze și să identifice probleme potențiale legate de structura și distribuția grăunților.

Identificarea fazelor: În anumite cazuri, sudurile pot consta din mai multe faze sau aliaje. Atacul colorat poate ajuta la diferențierea acestor faze prin dezvăluirea selectivă a caracteristicilor lor

microstructurale unice. Aceste informații sunt cruciale pentru înțelegerea compoziției și proprietăților îmbinării sudate.

Detectarea compușilor intermetalici: sudarea poate duce la formarea de compuși intermetalici, care pot avea efecte semnificative asupra proprietăților mecanice ale sudurii. Atacul colorat poate ajuta la identificarea și caracterizarea acestor compuși, ajutând la evaluarea impactului potențial al acestora asupra performanței sudurii.

Analiza tensiunilor reziduale: Atacul colorat combinată cu tehnici specifice, cum ar fi metodele de îndepărtare a straturilor, poate fi utilizată pentru a analiza și vizualiza distribuția tensiunilor reziduale în îmbinările sudate. Aceste informații sunt vitale pentru evaluarea integrității structurale și potențialul pentru defecțiuni legate de tensiunile reziduale.

Examinarea limitelor grăunților: atacul colorat poate dezvălui limitele grăunților în metalul de sudură și HAZ. Caracterizarea granițelor este esențială pentru evaluarea susceptibilității la coroziune intergranulară și pentru determinarea proprietăților mecanice generale ale sudurii.

Este demn de remarcat faptul că selecția adectorilor și a metodelor de preparare adecvate este critică în atacul colorat pentru aplicații metalurgice. Diferite aliaje și procese de sudare pot necesita soluții și condiții de atac specifice pentru a obține rezultate precise și semnificative. În plus, în metalurgia modernă, alte tehnici nedistructive și cantitative, cum ar fi microscopia, microscopia electronică și difracția cu raze X, sunt adesea folosite împreună cu atacul colorat pentru o analiză cuprinzătoare a îmbinărilor sudate.

Concluzii

Exemplele prezentate au demonstrat valoarea mare a atacului culorii și nuanțelor pentru examinarea microstructurilor metalelor. Există soluții pentru a dezvolta culoarea cu majoritatea sistemelor de aliaje comerciale. Exemplele demonstrează în mod clar valoarea acestor reactivi în dezvoltarea completă a structurii cerealelor, chiar și pentru probele cele mai dificil de gravat. În plus, acestea sunt de natură selectivă, care pot fi destul de utile pentru studii metalografice cantitative. Nuanțele de atac dezvăluie foarte clar segregarea fie EDS, fie WDS și pot fi efectuate pe o suprafață atacată cu nuanțe fără probleme din partea stratului de suprafață de interferență.

Compoziții de reactivi pentru atac

Tabelul 2.1.6 și 2.1.7 prezintă rețete pentru reactivi colorați obișnuiți [2.1.15].

Tabelul 2.1.6

Reactivi colorati	Reactivi pentru rețete
Klemm's I	50 ml soluție stoc, 1 g $K_2S_2O_5$ (soluția stoc este apă saturată cu $Na_2S_2O_3$)
Klemm's III	5 ml soluție stoc, 45 ml apă, 20 g $K_2S_2O_5$ (soluție stoc ca pentru Klemm's I)
Reactiv Beraha's 10/3	10 g $Na_2S_2O_3$, 3 g $K_2S_2O_5$ și 100 ml apă

Beraha's BI	100 ml soluție stoc (1000 ml apă, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF) plus 0,1 – 0,2 g K ₂ S ₂ O ₅ pentru oțel inoxidabil martensitic și 0,3 – 0,6 g K ₂ S ₂ O ₅ pentru oțel inoxidabil austenitic și feritic.
Reactivul acid sulfamic Beraha nr. III	100 ml apă, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 2 g NH ₂ SO ₃ H (au fost publicate alte două compoziții similare) pentru oțeluri carbon și aliate.
Reactivul acid sulfamic al lui Beraha nr. IV	100 ml apă, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 1 g NH ₂ SO ₃ H, 0,5 – 1 g NH ₄ FHF pentru oțeluri de scule cu Cr ridicat și oțeluri inoxidabile martensitice.
Reactivii Beraha CdS și PbS	Soluție stoc CdS: 1000 mL apă, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ • 5H ₂ O, 20-25 g clorură de cadmiu (sau acetat de cadmiu), 30 g acid citric; Soluție stoc de PbS: 1000 mL apă, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ • 5H ₂ O, 30 g acid citric, 24 g acetat de plumb.

Se amestecă fiecare soluție în ordinea exactă dată.

Tabelul 2.1.7

Reactivi colorați	Reactivi pentru rețete
Reactivul molibdat de sodiu al lui Beraha	Soluție stoc: 1000 mL apă, 10 g Na ₂ MoO ₄ • 2H ₂ O. Se toarnă aproximativ 100 ml de soluție stoc și se adaugă HNO ₃ pentru a aduce pH-ul la 2,5 – 3,0. Pentru oțeluri, adăugați cantități mici de NH ₄ FHF pentru a controla colorarea (nici unul pentru fontă). Culori cementite.
Reactivul acid selenic al lui Beraha pentru fontă	100 ml etanol, 2 ml HCl, 1 ml acid selenic
Reactivul acid selenic al lui Beraha pentru aliaje de Cu	300 ml etanol, 2 ml HCl, 0,5-1 ml acid selenic
Reactiv Lichtenegger și Blösch LB1	20 g de bifluorură de amoniu, NH ₄ FHF, și 0,5 g metabisulfid de potasiu, K ₂ S ₂ O ₅ , dizolvate în 100 ml apă (utilizați apă fierbinte). Gravare la 25-30 °C.
Reactivul lui Weck pentru Al	100 ml apă, 4 g KMnO ₄ și 1 g NaOH
Reactivul lui Weck modificat pentru Ti	100 ml apă, 25 ml etanol și 2 g bifluorură de amoniu. Formula originală a specificat 50 ml de etanol, dar care produce artefacte de gravare.

2.1.4. Diferențele dintre lustruirea electrolică, lustruirea chimică, atacul colorat

Lustruirea electrolică, lustruirea chimică și atacul colorat sunt trei tehnici diferite de tratare a suprafeței utilizate pentru metale, fiecare cu principii și aplicații distincte, și anume:

Detectarea și evaluarea defectelor de suprafață

Detectarea și evaluarea defectelor de suprafață sunt cruciale în analiza materialelor pentru a evalua calitatea și integritatea suprafeței. Fiecare dintre tehnicile de tratare a suprafeței -

lustruire electrolică, lustruire chimică și atac colorat - oferă avantaje și considerații specifice pentru detectarea și evaluarea defectelor de suprafață:

a. Detectarea și evaluarea defectelor de suprafață după lustruirea electrolică: lustruirea electrolică produce în general suprafețe netede și fără defecte datorită eliminării neregularităților de suprafață în timpul procesului. Defectele de suprafață, cum ar fi zgârieturi, gropi și fisuri, sunt mai puțin probabil să fie rezultate în timpul lustruirii electrolice, ceea ce îl face potrivit pentru analizele sensibile la defecte.

După lustruirea electrolică, așa cum se arată în figura 2.1.37, suprafața poate fi inspectată vizual sau observată la microscop pentru a detecta orice defecte rămase. Pentru o evaluare mai detaliată a defectelor, tehnici avansate precum microscopia electronică cu scanare (SEM) pot fi utilizate pentru a examina suprafața lustruită la mărimi mai mari.



Fig. 2.1.37 Detectarea defectelor de suprafață înainte și după lustruirea electrolică pentru cupru 101 [2.1.16]

b. Detectarea defectelor de suprafață și evaluarea după lustruirea chimică: Lustruirea chimică poate introduce defecte de suprafață, mai ales dacă procesul nu este controlat cu atenție. În timpul lustruirii chimice pot fi introduse defecte de suprafață, cum ar fi gropile de atac, rugozitatea suprafeței și alte nereguli, care pot afecta evaluarea defectelor. O atenție specială ar trebui acordată pentru a evita interpretarea greșită a defectelor care decurg din procesul de lustruire chimică în sine, mai degrabă decât defectele inerente ale materialului, așa cum este ilustrat în figura 2.1.38. Tehnici avansate precum profilometria optică sau microscopia cu forță atomică (AFM) pot fi utilizate pentru a evalua cantitativ rugozitatea suprafeței și pentru a detecta defectele introduse în timpul lustruirii chimice.

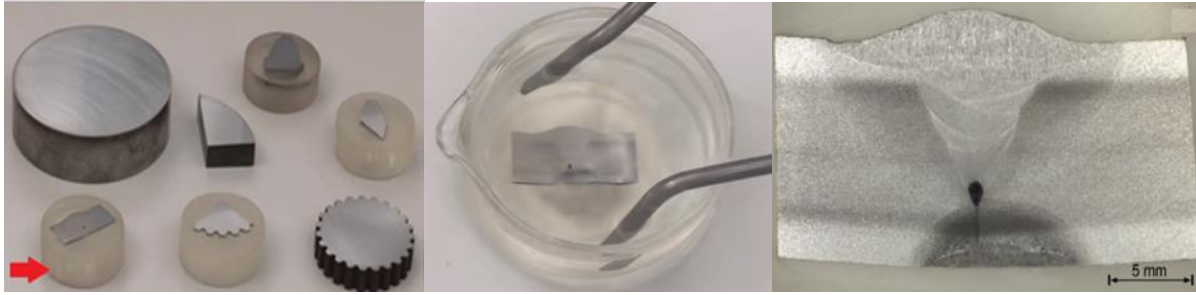


Fig. 2.1.38 Detectarea defectelor de suprafață înainte și după lustruirea chimică pentru oțel inoxidabil [2.1.17]

c. Detectarea și evaluarea defectelor de suprafață după atacul colorat: atacul colorat poate ajuta la evidențierea și dezvăluirea defectelor de pe suprafața metalului datorită culorilor sau nuanțelor contrastante produse de agenți de atac specifici, așa cum este prezentat în figura 2.1.39. Defecte precum fisurile, incluziunile și porozitatea pot fi identificate și evaluate mai ușor după atacul colorat. Tehnica este deosebit de utilă pentru analiza sensibilă a defectelor la îmbinările sudate și a altor componente critice. Cu toate acestea, este esențial să se asigure că agentul de atac colorat nu maschează sau interferează cu detectarea anumitor tipuri de defecte.

În toate cazurile, alegerea tehnicii de tratare a suprafeței depinde de cerințele specifice de detectare și evaluare a defectelor. Este important să se ia în considerare impactul potențial al tratamentului de suprafață în sine asupra introducerii defectelor și să se asigure că există controale adecvate în timpul procesului de pregătire al probei. În plus, tehnici complementare, cum ar fi: metodele de testare nedistructivă (NDT), testarea cu ultrasunete, testarea cu colorant penetrant și inspecția cu raze X, pot fi utilizate împreună cu tratamentul suprafeței pentru a oferi o evaluare completă a defectelor de suprafață și a calității materialului.

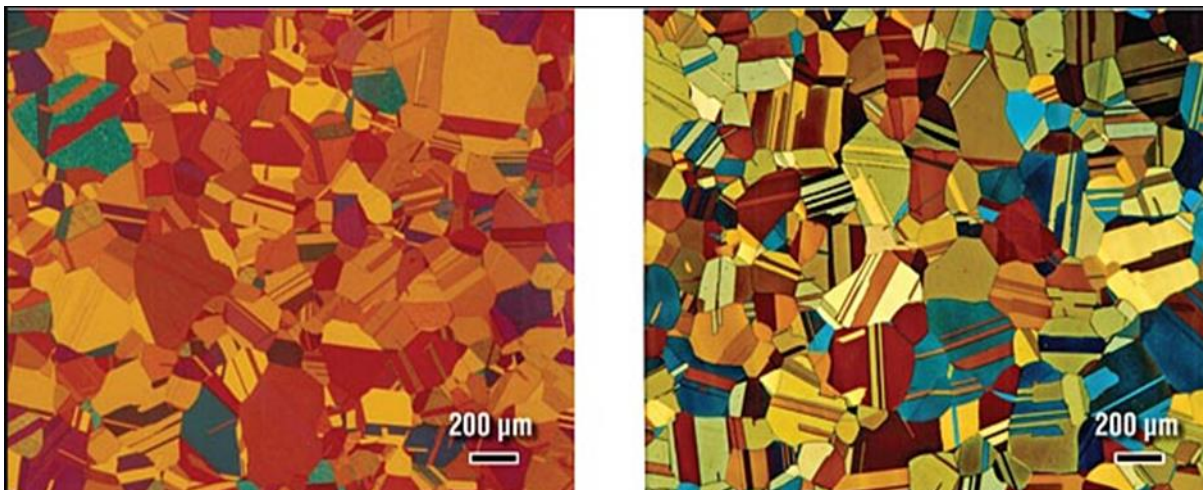


Fig. 2.1.39 Observații microstructura probei, atacare cu soluție Berahal (3 g $K_2S_2O_5$, 10 g $Na_2S_2O_3$ în 100 ml apă distilată) au fost efectuate după o tehnică tradițională de preparare a probei [2.1.14]

Evaluarea limitelor grăunților



Evaluarea granițelor este un aspect important al analizei microstructurale, în special în metalurgie și știința materialelor. Fiecare dintre tehnicile de tratare a suprafeței — lustruire electrolică, lustruire chimică și atac color — au avantajele și considerentele lor pentru evaluarea limitelor grăunților:

- a. Evaluarea limitelor grăunților după lustruirea electrolică: Limitele grăunților sunt în general bine conservate și vizibile clar după lustruirea electrolică, ceea ce o face potrivită pentru analiza limitelor grăunților, așa cum este prezentat în figura 2.1.40.

Microscopia optică de înaltă calitate poate fi utilizată pentru a observa și analiza limitele grăunților, permițând identificarea mărimii, formei și distribuției grăunților. Difracția cu retroîmprăștiere a electronilor (EBSD) este adesea folosită pentru a obține informații detaliate despre orientarea cristalografică și caracterul limită de grăunți după lustruirea electrolică.

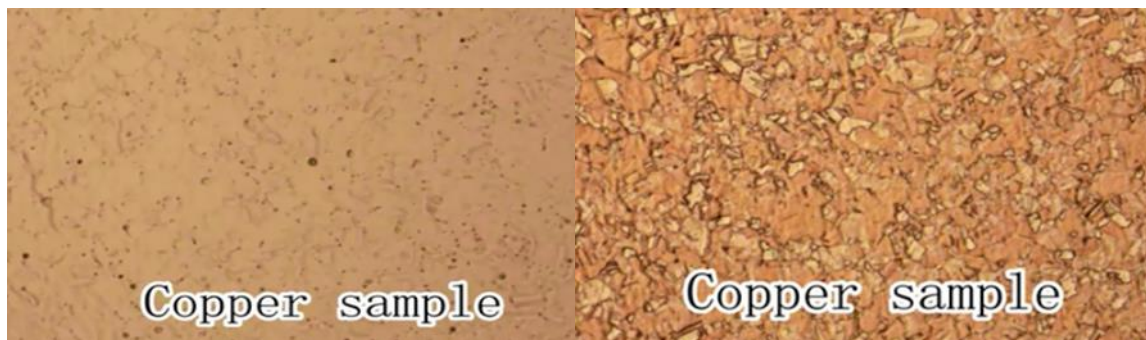


Fig. 2.1.40 Evaluarea limitelor grăunților după lustruirea electrolică pentru cupru 101

[2.1.7]

- b. Evaluarea limitelor grăunților după lustruirea chimică: Trebuie acordată o mare atenție pentru a se asigura că procesul de lustruire chimică nu modifică în mod semnificativ limitele grăunților. Tehnicile de microscopie de înaltă rezoluție, cum ar fi SEM și TEM, pot fi necesare pentru a evalua limitele granițelor după lustruirea chimică, așa cum se arată în Figura 2.1.41. Analiza granițelor poate fi o provocare în anumite materiale datorită potențialului de gravare preferențială de-a lungul granițelor.



Fig. 2.1.41 Evaluarea limitelor grăunților după lustruirea chimică pentru oțel inoxidabil

[2.1.17]

c. Evaluarea limitelor granulației după atacul color: atacul color poate fi avantajoasă pentru evaluarea limitelor grăunților, deoarece evidențiază limitele grăunților în culori sau nuanțe contrastante. Tehnica permite vizualizarea și identificarea limitelor grăunților, facilitând analiza mărimii și distribuției grăunților. Atacul color poate fi deosebit de utilă pentru evaluarea comportamentului limită de grăunților în suduri și alte materiale cu mai multe faze. Cu toate acestea, trebuie avut grijă pentru a se asigura că agentul de atacul color nu ascunde sau distorsionează limitele grăunților, așa cum se arată în figura 2.1.42.

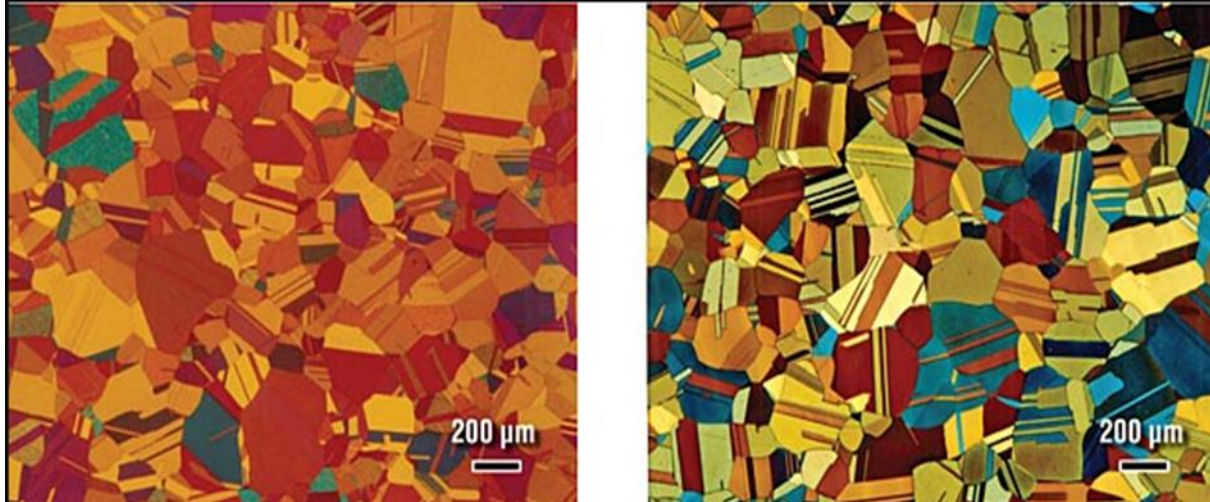
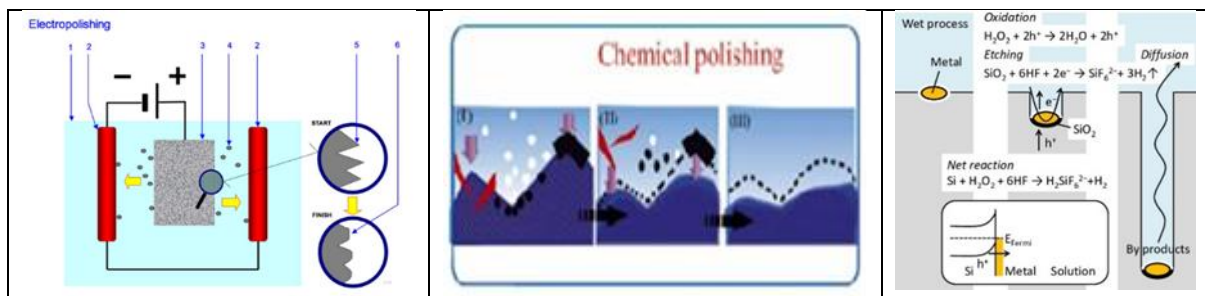


Fig. 2.1.42 Structura de grăunți cu FCC asemănători ai cartuşului de alamă, Cu-30% Zn, după reducerea la rece cu 50% și recoacere completă, nuanță atacată cu reactivi Klemm I (stânga) și Klemm III (dreapta) și vizualizată cu lumină polarizată plus nuanță sensibilă. Magnificarea este de 200 μm. [2.1.14].

În general, toate cele trei tehnici de tratare a suprafeței pot fi utilizate pentru evaluarea limitelor grăunților, dar este necesară o analiză atentă pentru a alege cea mai potrivită metodă, în funcție de tipul de material, obiectivele analizei și impactul potențial al tratamentului de suprafață, în sine. Tehnici avansate de microscopie precum SEM, TEM și EBSD sunt adesea folosite pentru a obține informații detaliate despre limitele grăunților, orientarea cristalografică și caracterul graniței după tratamentul de suprafață. În plus, este esențial să folosiți proceduri standardizate și tehnici validate pentru a asigura o analiză fiabilă și precisă a graniței.

Diferențele dintre procese

În plus, vom prezenta o comparație între procesele de lustruire electrochimică, lustruire chimică și atac color:



LUSTRIRE ELECTROLITICĂ	LUSTRIRE CHIMICĂ	ATAC COLOR
------------------------	------------------	------------

Principiu:

Lustruire electrolică: proces electrochimic care utilizează un curent electric pentru a netezi suprafața metalului prin dizolvarea controlată a neregulilor de suprafață.

Lustruire chimică: proces chimic care implică dizolvarea selectivă a unui strat subțire de metal printr-o reacție chimică pentru a obține o suprafață lustruită și strălucitoare.

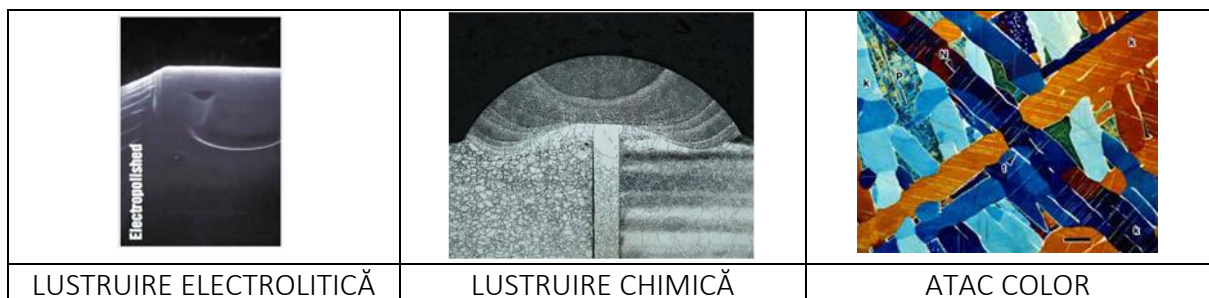
Atac color: Tehnica metalografică care utilizează gravuri specifice pentru a dezvălui și evidenția diferite caracteristici microstructurale cu culori sau nuanțe contrastante.

Finisarea suprafeței:

Lustruire electrolică: produce o suprafață netedă, ca o oglindă, cu deformare mecanică minimă.

Lustruire chimică: creează un aspect lustruit și strălucitor, dar suprafața poate fi afectată de artefacte sau neregularități introduse.

Atac color: Oferă o suprafață cu culori sau nuanțe contrastante, evidențiind caracteristicile microstructurale fără a modifica semnificativ finisajul suprafeței.

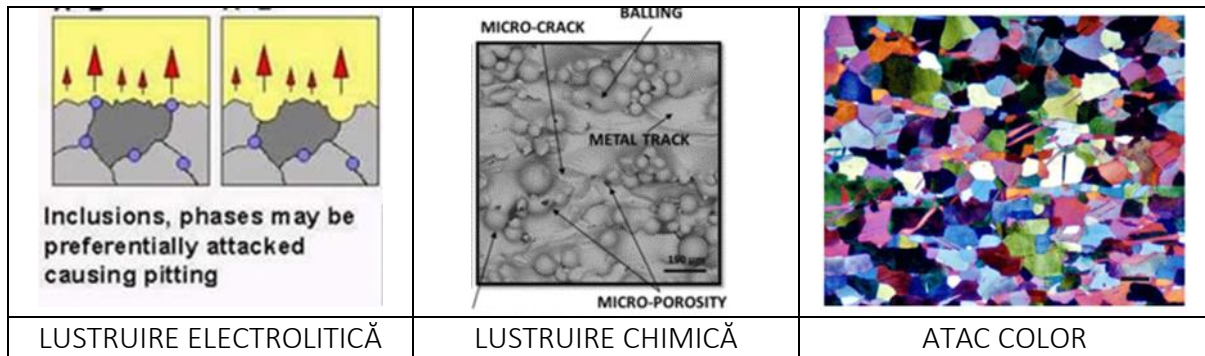


Introducere defect:

Lustruire electrolică: Minimizați introducerea de defecte de suprafață datorită naturii sale nemecanice.

Lustruire chimică: Poate introduce defecte de suprafață sau modele de gravare în funcție de controlul reacției chimice.

Atac color: De obicei nu introduce defecte, dar trebuie avut grijă pentru a vă asigura că reactivul colorat nu ascunde anumite defecte.



Evaluarea limitelor grăunților:

Lustruire electrolică: Potrivit pentru analiza limitelor grăunților, oferind limite de grăunți bine conservate și vizibile, ca în figura 2.1.43.

Lustruire chimică: O provocare pentru evaluarea limitelor de grăunți din cauza potențialelor artefacte introduse în timpul procesului de gravare chimică.

Atac color: Utilă pentru evidențierea limitelor- de grăunților cu culori contrastante, ajutând la evaluarea limitelor de grăunților.

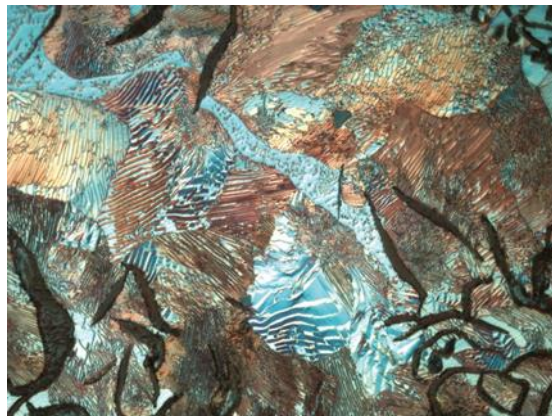


Fig. 2.1.43 Distanța interlamelară a perlitului într-o fontă cenușie [2.1.18]

Detectarea defectelor de suprafață:

Lustruire electrolică: Permite detectarea eficientă a defectelor pe suprafețe netede cu artefacte minime.

Lustruire chimică: Poate introduce defecte de suprafață, făcând evaluarea defectelor mai complexă.

Atac color: facilitează identificarea defectelor prin contrastul culorilor, după cum se poate observa în figura 2.1.44, deosebit de utilă pentru detectarea defectelor la componentele critice.

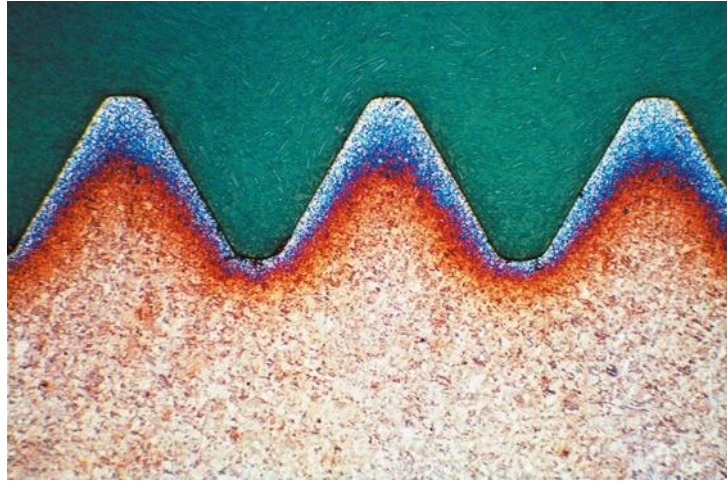


Fig. 2.1.44 Călirea la suprafață a oțelurilor [2.1.18]

Analiza microstructurii:

Lustruire electrolică: Permite o examinare microstructurală precisă cu interferențe minime.

Lustruire chimică: Necesită un control atent pentru a evita interpretarea greșită a defectelor introduse în timpul procesului.

Atac colorat: Valoroasă pentru analiza microstructurală, în special în suduri și materiale multifazice, așa cum se poate observa în figura 2.1.45, prin evidențierea constituenților microstructurali.

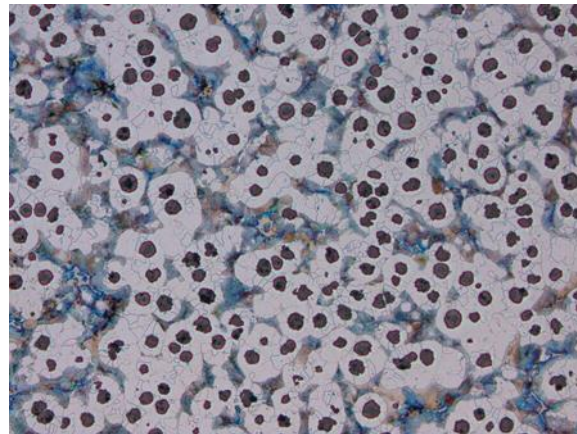


Fig. 2.1.45 Fontă ductilă cu grafit sferoidal (obiectiv HC PL Fluotar 10x, câmp luminos).
[2.1.18]

Aplicatii:

Lustruire electrolică: Folosit în principal în metalografie pentru pregătirea probelor pentru microscopie și analiză microstructurală.

Lustruire chimică: Aplicată în industria electronică, optică, bijuterii și aerospațială pentru a obține finisaje de înaltă calitate a suprafețelor.

Atac colorat: utilizat pe scară largă în metalurgie și știința materialelor pentru examinarea microstructurală a diferitelor componente metalice, așa cum se arată în figura 2.1.46.

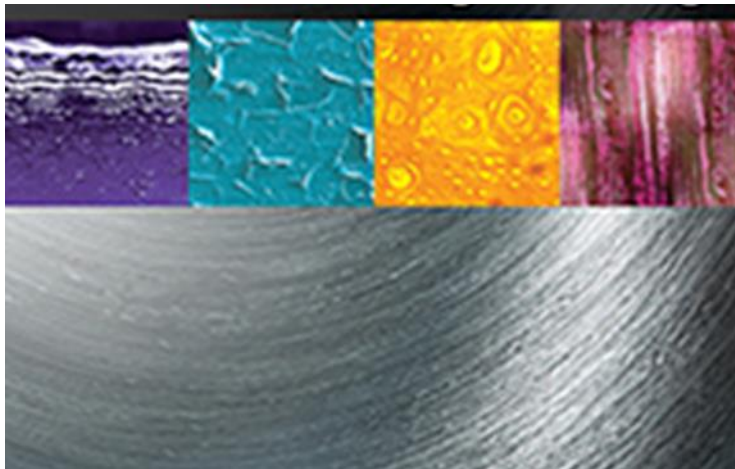


Fig. 2.1.46 Electrolustruirea suprafețelor: teorie și aplicații [2.1.19]

Pe scurt, fiecare proces are punctele sale forte și punctele slabe, iar alegerea tehnicii depinde de cerințele specifice ale analizei, de tipul de material și de nivelul dorit de finisare și precizie a suprafeței.

Observații finale

Acest capitol a oferit o explorare aprofundată a lustruirii electrolitice, lustruirii chimice și atacului color, concentrându-se pe definițiile, scopurile, mecanismele și aplicațiile acestora în știința și ingineria materialelor. Reacțiile electrochimice controlate ale lustruirii electrolitice oferă informații valoroase despre analiza microstructurii, detectarea defectelor de suprafață, evaluarea granițelor și pregătirea acoperirii suprafeței, susținând dezvoltarea materialelor metalice avansate.

Lustruirea chimică s-a dovedit eficientă în caracterizarea microstructurii, îmbunătățirea finisajului suprafeței, identificarea fazelor și evaluarea materialelor, cu capacitatea sa de a îndepărta selectiv materialul, sporind vizibilitatea caracteristicilor microstructurale și a caracteristicilor defectelor.

Atacul color, prin interacțiunea cu constituenții microstructurali, este o tehnică valoroasă pentru identificarea fazelor, detectarea incluziunii și analiza mărimii grăunților, oferind un mijloc de vizualizare și diferențiere a diferitelor caracteristici microstructurale pe baza culorii.

Aceste tehnici oferă abordări complementare pentru studierea materialelor metalice, cu aplicații variind de la cercetarea materialelor până la analiza defectiunilor și optimizarea procesului.

Referințe

[2.1.1] <https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=electropolishing;>

[2.1.2] <https://www.besttechnologyinc.com/electropolishing-echipament/cum-funcionează-electropolustruirea;>

- [2.1.3] <https://www.youtube.com/watch?v=H28Ebg2igbM>;
- [2.1.4] <https://www.quora.com/cum> folosim un sistem-de-trei-electrozi-pentru-analiza-electrochimică;
- [2.1.5] <https://www.ebsd.com/hints-and-tips/ebsd-sample-preparation/electrolyte-polishing-and-etching>;
- [2.1.6] Caracteristicile de prelucrare ale electrolustruirii oțelului inoxidabil (STS316L) E.-S. Lee, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2000) 16:591–599;
- [2.1.7] <https://www.youtube.com/watch?v=CaD-4m4RjLs>;
- [2.1.8] Efectul lustruirii chimice în materialele din titan pentru degajare scăzută K. Ishizawa , H. Kurisu, IOP Publishing, Journal of Physics: Conference Series 100 (2008) 092023, IVC-17/ICSS-13 and ICN+T2007;
- [2.1.9] <https://logitech.uk.com/product/chemical-polishing-systems>;
- [2.1.10] <https://www.struers.com/Knowledge/şlefuire> și lustruire/#grinding-polishing-methods;
- [2.1.11] Cartea de referință Smithells Metals, 8th Edition - December 9, 2003, Editors: William F. Gale, Terry C. Totemeier, eBook ISBN: 9780080480961;
- [2.1.12] Peter J. Szabo, I. Kardos, Correlation between grain orientation and the shade of color etching, Materials Characterization, Volume 61, Issue 8, 2010, Pages 814-817, ISSN 1044-5803, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2010.05.005>;
- [2.1.13] Kenji Ishikawa, Kazuhiro Karahashi, Tatsuo Ishijima, Keizo Kinoshita, &co. Progress in nanoscale dry processes for fabrication of high-aspect-ratio features: How can we control critical dimension uniformity at the bottom, June 2018, Japanese Journal of Applied Physics 57(6S2):06JA01, DOI: 10.7567/JJAP.57.06JA01;
- [2.1.14] <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html>;
- [2.1.15] G. F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984 and ASM International, Materials Park, Ohio, 1999;
- [2.1.16] https://www.youtube.com/watch?v=yOScziqA4_8;
- [2.1.17] <https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw>;
- [2.1.18] <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/applied/metallography-an-introduction>;
- [2.1.19] <https://www.tandfonline.com>.

2.2. Demonstrație de lustruire electrolitică și gravare colorată

2.2.1. Lustruire electrolitică – scop, aplicare și demonstrație

2.2.2. Practică practică cu lustruire electrolitică

2.2.3. Probleme comune și soluție la utilizarea tehnicii de electrolustruire pentru prepararea probelor metalo-grafice

2.2.4. Manipularea și eliminarea electroliților din lustruirea electrolitică

2.2.5. Depanare și sfaturi în probe metalografice de lustruire electrolitică

2.2.6. Exemple reale de lustruire electrolitică

2.2.7. Gravura colorată – scop, aplicare și demonstrație

2.2.8. Practică practică cu Gravura colorată

2.2.9. Probleme comune și soluție atunci când se utilizează gravarea colorată pentru prepararea probelor metalografice

2.2.10. Manipularea și eliminarea reactivilor de la Colored Etching

2.2.11. Depanare și sfaturi în probe metalografice de lustruire electrolitică

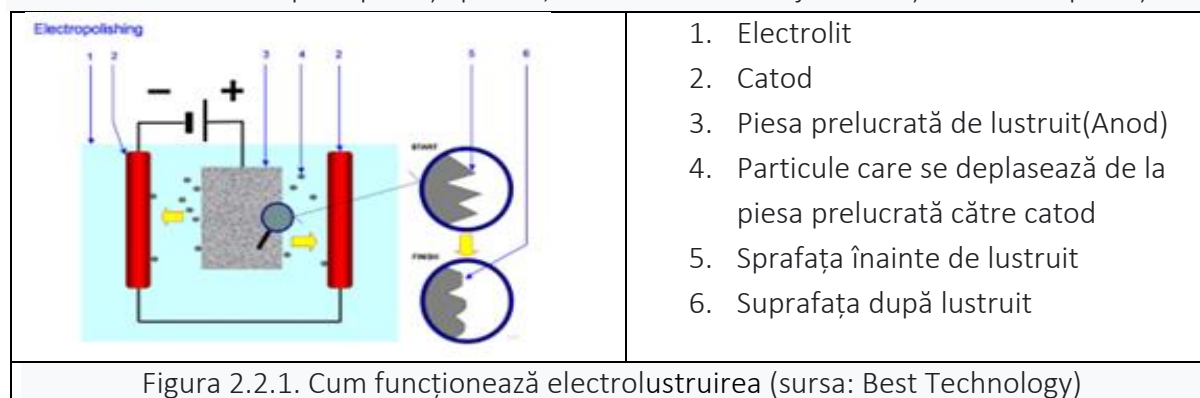
2.2.12. Exemple reale de gravare colorată

2.2.13. Înțelegeți diferențele în ceea ce privește efectele lor asupra finisajului suprafeței și microstructurii probei atât gravate, cât și electrolustruite

2.2. DEMONSTRAREA LUSTRIIRII ELECTROLITICE ȘI GRAVĂRII COLORATE

2.2.1 Lustruire electrolitică – scop, aplicare și demonstrație

Lustruirea electrolitică este o tehnică specializată folosită pentru a îndepărta materialul de pe o suprafață metalică prin reacții electrochimice controlate. Acest proces este utilizat în mod obișnuit pentru pregătirea probelor pentru microscopie, metalografie și alte aplicații în care este necesară o finisare de înaltă calitate a suprafeței. Este utilizat pentru a îmbunătăți calitatea suprafeței speciemenelor metalice pentru examinarea microscopică. Aceasta implică aplicarea controlată a curentului electric și a unei soluții de electrolit pentru a îndepărta selectiv materialul de pe suprafața probei, rezultând un finisaj lustruit și curat al suprafeței.



În electropolizare, piesa metalică sau piesa de prelucrat servește ca anod încărcat pozitiv. Piesa de prelucrat este conectată la borna pozitivă a unui redresor de curent continuu.



Catodul încărcat negativ, realizat în general din oțel inoxidabil sau zirconiu, este conectat la borna negativă a redresorului de curent continuu.

Atât anodul cât și catodul sunt scufundați într-o baie cu temperatură controlată de soluție de electrolit. Curentul electric de la redresor este condus de la anod la catod prin electrolit.

Curentul electric face ca ionii metalici de pe suprafața piesei să se oxideze și să se dizolve în electrolit. Acest proces poate dizolva cantități extrem de mici, strâns controlate de metal, rezultând o grosime a suprafeței la nivel de microni.

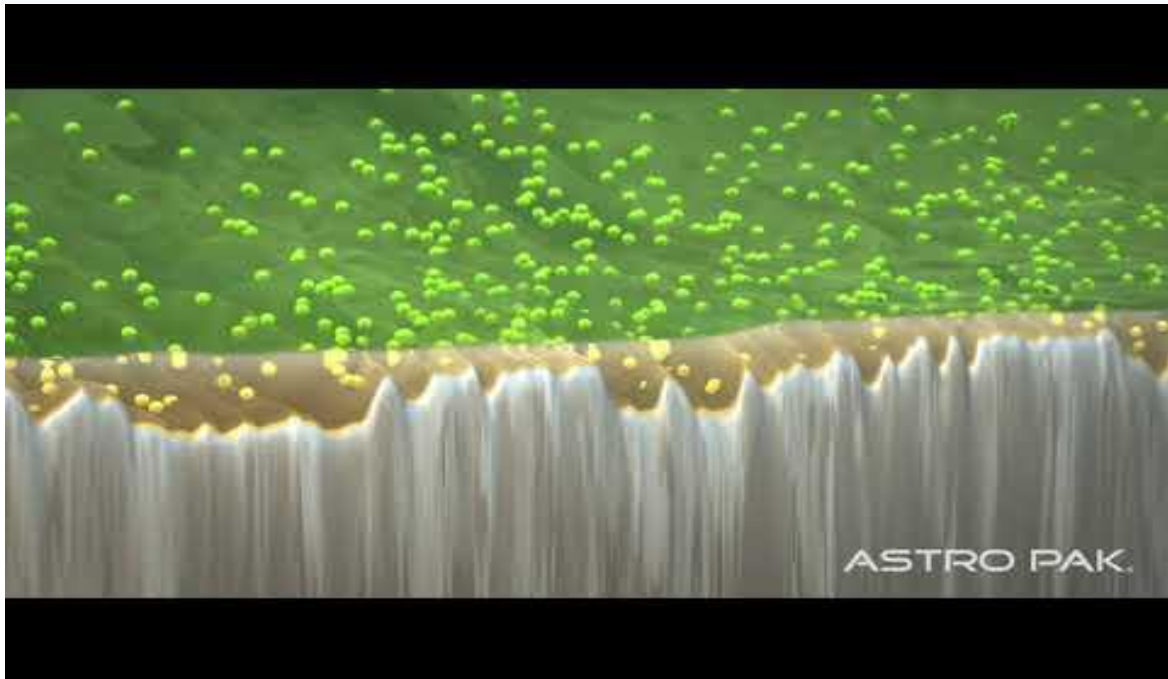


Figura 2.2.2. Ce este electropolishing? | Cum funcționează electrolustruirea? (sursa: AstroPaK)

Cantitatea de îndepărtare a suprafeței metalice este controlată de următorii factori: compoziția chimică a electrolitului, temperatura electrolitului (de obicei 76 °C – 82 °C), durata de timp de expunere la curent electric, densitatea curentului electric (variază). prin electrolit; compoziția aliajului metalic supus electropolurii. Aliajele metalice suportate pentru electrolustruire sunt aluminiu, oțel carbon, oțel inoxidabil, aliaje de cupru, nitinol, titan, oțel pentru scule, aliaje speciale/exotice. Produsele chimice de electrolustruire pentru oțel inoxidabil de obicei constau dintr-un amestec cu vâscozitate mare de acid sulfuric și acid fosforic.

2.2.2 Practică cu lustruire electrolitică



Se desfășoară de obicei în medii de laborator sau industriale în scopul îmbunătățirii finisajului suprafeței probelor de metal. Lustruirea electrolytică este o tehnică specializată utilizată pentru a îndepărta materialul de pe o suprafață metalică prin reacții electrochimice controlate. Acest proces este utilizat în mod obișnuit pentru pregătirea probelor pentru microscopie, metalografie și alte aplicații în care este necesar un finisaj de înaltă calitate a suprafeței.

Înainte de a începe procesul, asigurați-vă că urmați toate măsurile de siguranță. Acestea includ purtarea echipamentului individual de protecție adecvat, lucrul într-o zonă bine ventilată și respectarea oricăror instrucțiuni de siguranță furnizate de instituția sau locul de muncă.

Materiale și echipamente folosite în lustruirea electrolytică:

- Probe de metal pregătite să fie lustruite

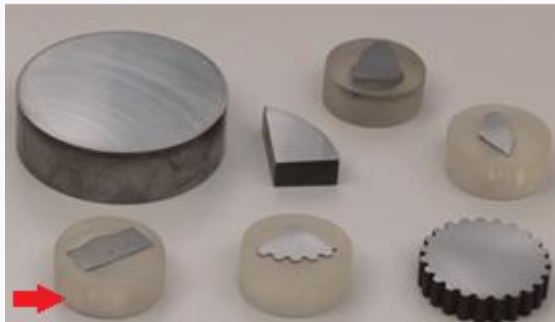


Figura 2.2.3. Probe pregătite să fie electrolytruite(sursa: Kemet International Ltd)

- Echipament pentru lustruire electrolytică, incluzând sursa de curent, soluția electrolytică și electrozi



Figura 2.2.4. Echipament pentru polizor electrolytic cu capacul celulei electrolytică



(sursa: American Bueh-ler Instrument Co., Ltd.)



Figura 2.2.5. Echipament pentru polizor electrolitic cu celula electrolitică

(sursa: Kemet International Ltd)

- Ochelari de protecție, mănuși și halat de laborator
- Recipiente de sticlă pentru soluția electrolitică



Figure 2.2.6. Soluții electrolitice (sursa: Micro Lit)

- Lavetă sau tampoane de lustruit
- Multimetre



Figura 2.2.7. Multimetru (sursa: Pulsivo USA)

- Echipament de lustruit(ex: polizor sau șmirgel) pentru pregătirea inițială a probei



Figura 2.2.8. Echipament de lustruit (sursa: AzOm)

- Perie pentru spălat

Procedura de lucru pentru lustruirea electrolică:

Prepararea probei:

1. Operatorul trebuie să înceapă cu o probă de metal care necesită lustruire și să se asigure că este curată și lipsită de orice contaminanți.
2. Dacă proba prezintă imperfecțiuni semnificative ale suprafeței, este posibil ca operatorul să fie nevoit să efectueze o lustruire mecanică inițială folosind un polizor sau șmirghel pentru a elimina defectele majore.
3. Ulterior, proba trebuie clătită bine cu apă distilată pentru a elimina orice reziduuri și contaminanți.

Cele mai frecvent utilizate în industria de electrolustruire sunt ASTM B912 și [ASTM E1558-09](#). Standardul oferă îndrumări cu privire la modul de lustruire electrică a oțelului inoxidabil.

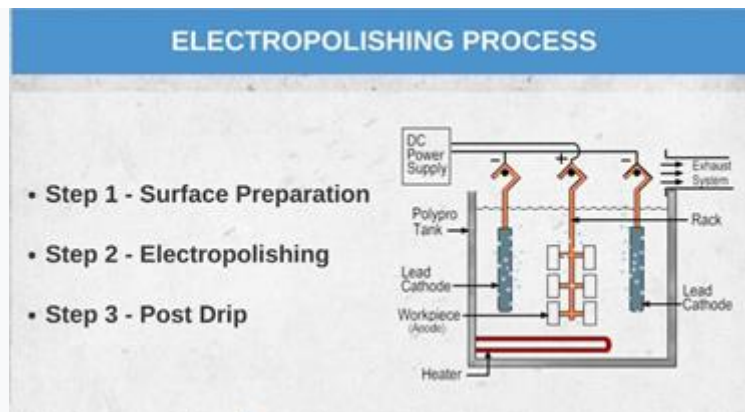


Figura 2.2.9. Etapele procesului de lustruire electromagnetă (sursa: Best Technology Ltd.)

În această fază de pregătire, operatorul trebuie să îndepărteze contaminanții precum uleiul și grăsimea care interferează cu uniformitatea atunci când se aplică curent electric. După curățare, aveți grijă ca piesele din oțel inoxidabil să evite contactul cu mâinile sau cu echipamentul. Curățarea necorespunzătoare este o cauză comună a respingerii pieselor.

Pregătirea soluției electrolitice:

1. Trebuie preparată o soluție de electrolit adecvată pentru metalul și aplicația specifică. Compoziția electrolitului va varia în funcție de materialul care urmează să fie lustruit.
2. Operatorul trebuie să toarne soluția de electrolit într-un recipient de sticlă.

Tabelul 2.2.1 Tipuri de soluții electrolitice (sursa: Quora)

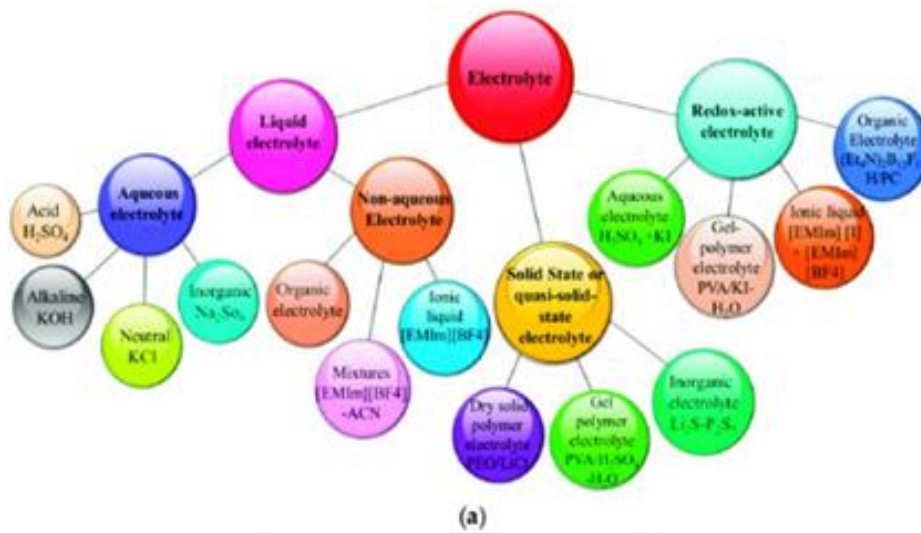
Oțel inoxidabil	10g Acid Oxalic, 100ml Apă
	5ml Acid Sulfuric, 100ml Apă
Pentru oțeluri austenitic-feritice	20-40% Soluție apoasă de Hidroxid de Sodiu
Pentru măsurarea automată a granulației oțelurilor austenitice	60% apă distilată 40% acid azotic

De exemplu, etapele propriu-zise de electrolustruire a oțelului inoxidabil sunt efectuate în această fază pentru a netezi, a străluci și a debavura metalul.

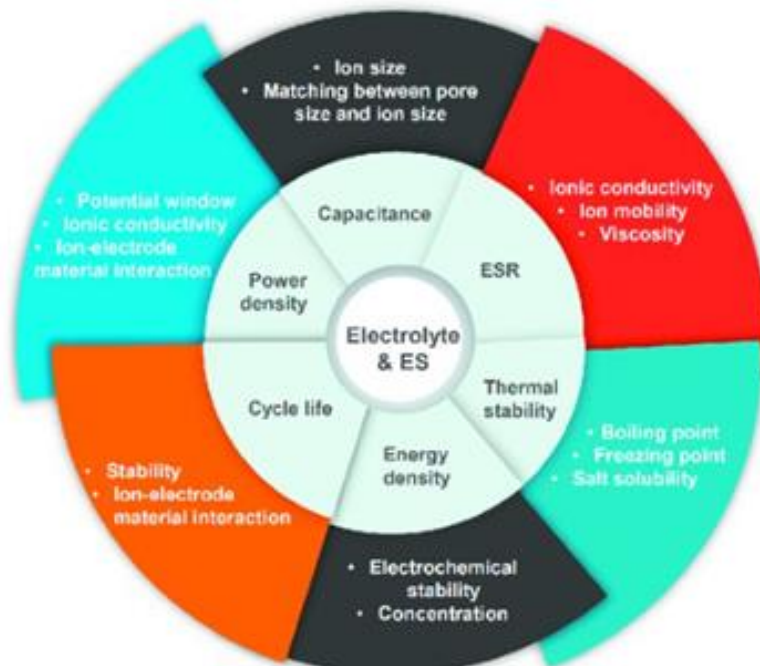
- Piese din oțel inoxidabil pentru lustruire electromagnetă – Timpii de tratament pot varia de la 10 secunde la 20 de minute.



- Se fierbe / Spray rinse sau Dead rinse – Acest rezervor captează soluția de electrolit utilizată.



(a)



(b)

Figura 2.2.10. (a) Diferite tipuri de electroliti potrivite pentru aplicații specifice SC și (b) impactul electrolitului asupra performanței SC electrochimice. (sursa: Tiwari, Santosh & Thakur, Anukul & De Adhikari, Amrita & Zhu, Yanqiu & Wang, Nannan. (2020). Cur-rent



Research of Graphene-Based Nanocomposites and Their Application for Supercapacitors. 10.
2046. 10.3390/nano10102046 .)

Configurarea celulei electrolitice:

1. Electrocul pozitiv (anodul) și electrocul negativ (catodul) trebuie să fie conectate la sursa de alimentare.
2. Operatorul trebuie să scufunde proba de metal în soluția de electrolit și să o conecteze la catod.
3. Anodul trebuie să fie realizat dintr-un material care nu se dizolvă în electrolit. Opțiunile comune includ platina sau grafitul.

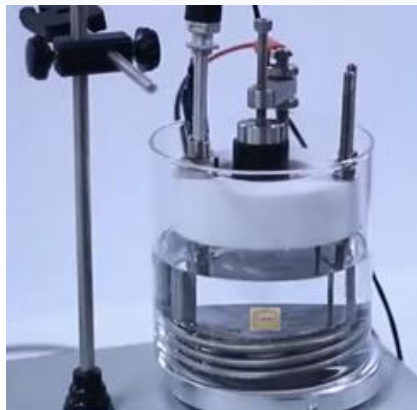


Figura 2.2.11. Celulă unitară specială pentru electrolustruire
(sursa: American Buehler Instrument Co., Ltd.)

Lustruirea Electrolitică

1. Operatorul trebuie să pornească sursa de alimentare și să seteze tensiunea și amperajul la valorile dorite pentru aplicația dumneavoastră. Parametrii specifici vor depinde de metal și de gradul de lustruire necesar.
2. Operatorul va observa îndepărtarea materialului din proba de metal. Metalul se dizolvă la anod și se depune la catod. Procesul trebuie monitorizat cu atenție pentru a obține finisajul dorit.



3. Operatorul trebuie să mențină tensiunea și amperajul în intervalul recomandat pentru a preveni supraîncălzirea sau deteriorarea probei.



Figura 2.2.12. Mașină de lustruit și gravat electrolitic DPF-2 (sursa: Micro Lit)

Clătirea și curățarea finală:

1. Odată ce se obține lustruirea dorită, operatorul trebuie să oprească sursa de alimentare.
2. Operatorul trebuie să scoată cu grijă proba din soluția de electrolit.
3. Operatorul trebuie să clătească proba cu apă distilată pentru a îndepărta orice electrolit rezidual.
4. Operatorul trebuie să folosească o cârpă sau un tampon de lustruit pentru a da probei o lustruire finală și pentru a elimina orice imperfecțiuni rămase.

Inspecția finală:

Operatorul trebuie să examineze proba lustruită la microscop sau în alte scopuri de control al calității pentru a se asigura că finisajul dorit a fost obținut.

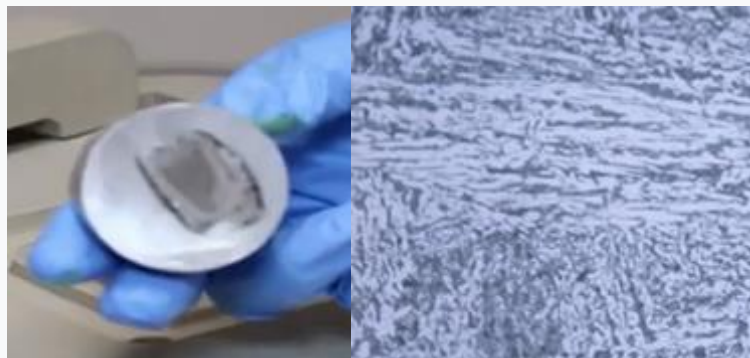


Figura 2.2.13. Structura microscopului a probei de oțel inoxidabil după ce a fost electropolizată (sursa: Kemet International Ltd)



2.2.3. Probleme și soluții comune atunci când se utilizează tehnica de electrolustruire pentru pregătirea probelor metalografice

Lustruirea electrolitică este un proces electrochimic precis utilizat pentru a obține un finisaj de înaltă calitate a suprafeței probelor de metal, cu toate acestea, poate întâmpina câteva probleme comune care pot afecta calitatea rezultatelor, în cele ce urmează le vom prezenta pe cele mai frecvente:

Lustruire neuniformă:

Problemă: Proba de metal poate suferi o lustruire neuniformă, rezultând un finisaj neuniform al suprafeței.



Figura 2.2.14. Lustruire neuniformă pe tablă de oțel inoxidabil (sursa: AzOm)

Soluție: Operatorul trebuie să se asigure că proba este bine fixată și poziționată în soluția de electrolit, amestecă soluția pentru a menține uniformitatea și ajustează parametrii electrici (voltaj și curent) pentru a asigura o lustruire constantă a întregului eșantion.

Supra-lustruire:

Problemă: Lustruirea excesivă apare atunci când proba este lustruită prea mult timp, ceea ce duce la îndepărtarea excesivă a materialului și la deteriorarea potențială a probei.

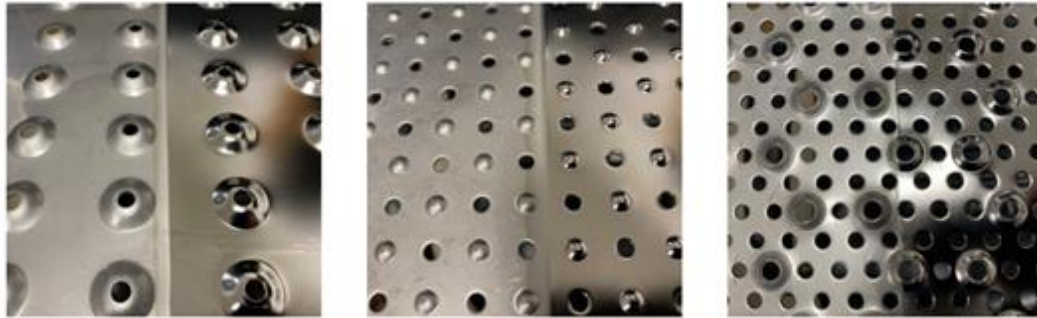


Figura 2.2.15. Graepels/Graepels din oțel inoxidabil (sursa: Perforators & Weavers Ltd/Graepel Perforators Ltd)

Soluție: Operatorul trebuie să monitorizeze îndeaproape procesul de lustruire și să respecte timpii de lustruire recomandați și să ajusteze setările de tensiune și curent pentru a controla rata de îndepărtare a materialului. Ar trebui implementat un temporizator pentru a preveni supra-lustruirea.

Pitting-ul și Dimpling-ul

1Problemă: Pitting-ul și dimpling-ul rezultă din coroziunea localizată în timpul lustruirii electrolitice, cauzând depresiuni neregulate pe suprafața probei.

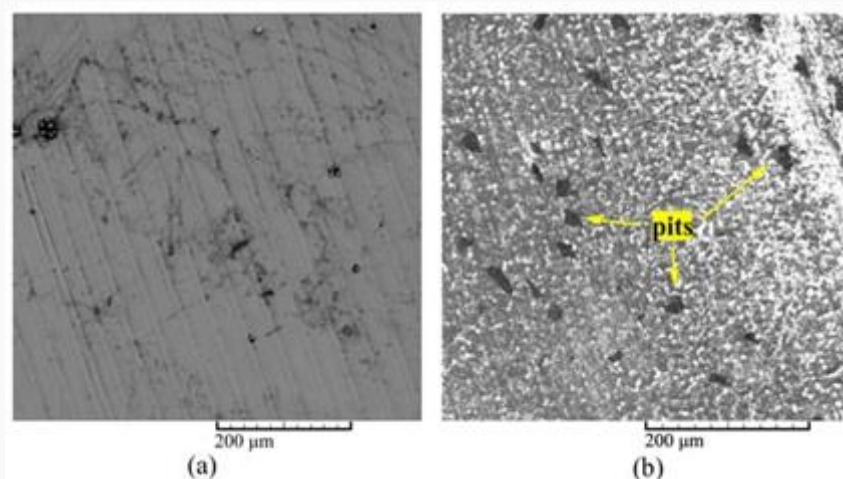


Figura 2.2.16. Imagine SEM a (a) unei suprafețe de disc de oțel șlefuit și (b) a unei suprafețe de disc de oțel electrolustruit. (sursa: Mašović, R.; Miler, D.; Čular, I.; Jakovljević, S.; Šercer,



M.; Žeželj, D. The Effect of Steel Electropolishing on the Tribological Behavior of a Steel-Bronze Pair in the Mixed and Boundary Lubrication Regimes. *Lubricants* **2023**, 11, 325.

<https://doi.org/10.3390/lubricants11080325>)

Soluție: Operatorul trebuie să verifice compoziția și temperatura soluției de electrolit, precum și distanța anod-catod și să se asigure că electrolitul este bine amestecat. Curățați corespunzător și pregătiți proba înainte de lustruire pentru a îndepărta orice contaminanți.

Suprafață aspră sau zgâriată

Problemă: Dacă suprafața probei pare aspră sau zgâriată după lustruirea electrolică, aceasta poate fi din cauza pregătirii mecanice inadecvate sau a echipamentului de lustruire murdar.

Soluție: Operatorul trebuie să se asigure că proba este pregătită corespunzător cu lustruirea mecanică inițială și să folosească echipamente de lustruire curate și bine întreținute și să verifice calitatea cârpei sau a tamponului de lustruit pentru orice particule abrazive care ar putea zgâria suprafața.

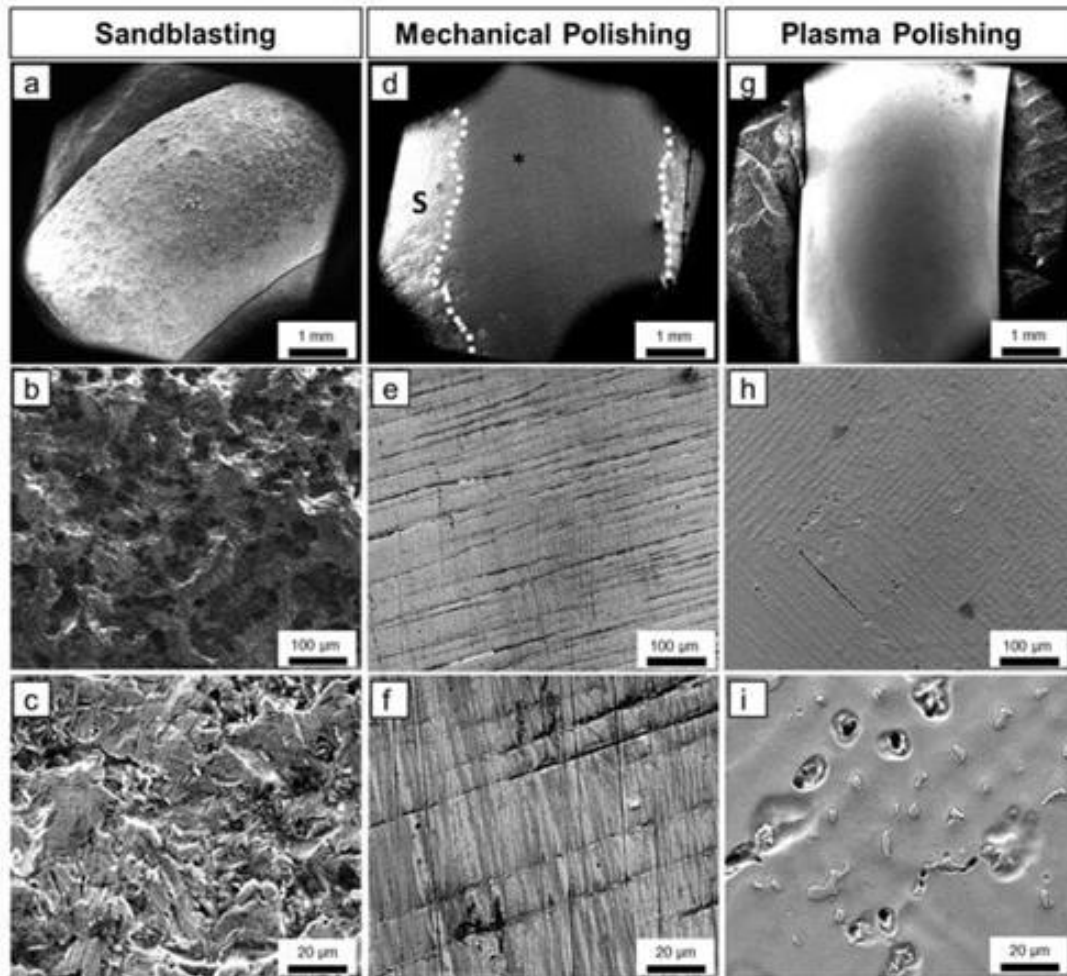


Figura 2.2.17. Micrografii SEM care dezvăluie comparația dintre aliajele Co-Cr sablate, lustruite mecanic și lustruite electrolytic cu plasmă. (a) Prezentare de ansamblu a sablatului care descrie o morfologie de suprafață rugoasă. (b) Vedere în prim-plan a suprafeței sablate care arată o suprafață rugoasă și fisurată. (c) Mărirea mare dezvăluie o suprafață neregulată cu creste, margini și porozități mai adânci. (d) Prezentare generală a eșantionului lustruit mecanic care ilustrează o margine clară între zona lustruită mecanic (*) și zona sablata (S). (e,f) Mărirea mare a probei lustruite mecanic dezvăluie o suprafață netedă, cu numeroase semne de lustruire. (g) Prezentare generală a probei lustruite electrolytic cu plasmă care arată o suprafață netedă completă. (h) Prim-plan al probei lustruite electrolytic cu plasmă care arată o suprafață netedă cu numeroase neomogenități. (i) Mărirea mare a probei lustruite electrolytic cu plasmă dezvăluie o suprafață netedă cu structuri insulare intercalate. (sursa: Witzke, Katharina & Kensbock, Renko & Willsch, Caroline & Fricke, Katja & Bekeschus, Sander & Metelmann, Hans-Robert. (2023). Lustruire electrolytică mecanică și cu plasmă a aliajelor dentare. *Materiale*. 16. 6222. 10.3390/ma16186222.)

Bulele de Gaz și Creșterea Dendritică

Problemă: Formarea de bule de gaz sau creșterea dendritică pe suprafața probei poate apărea în timpul lustruirii electrolitice.

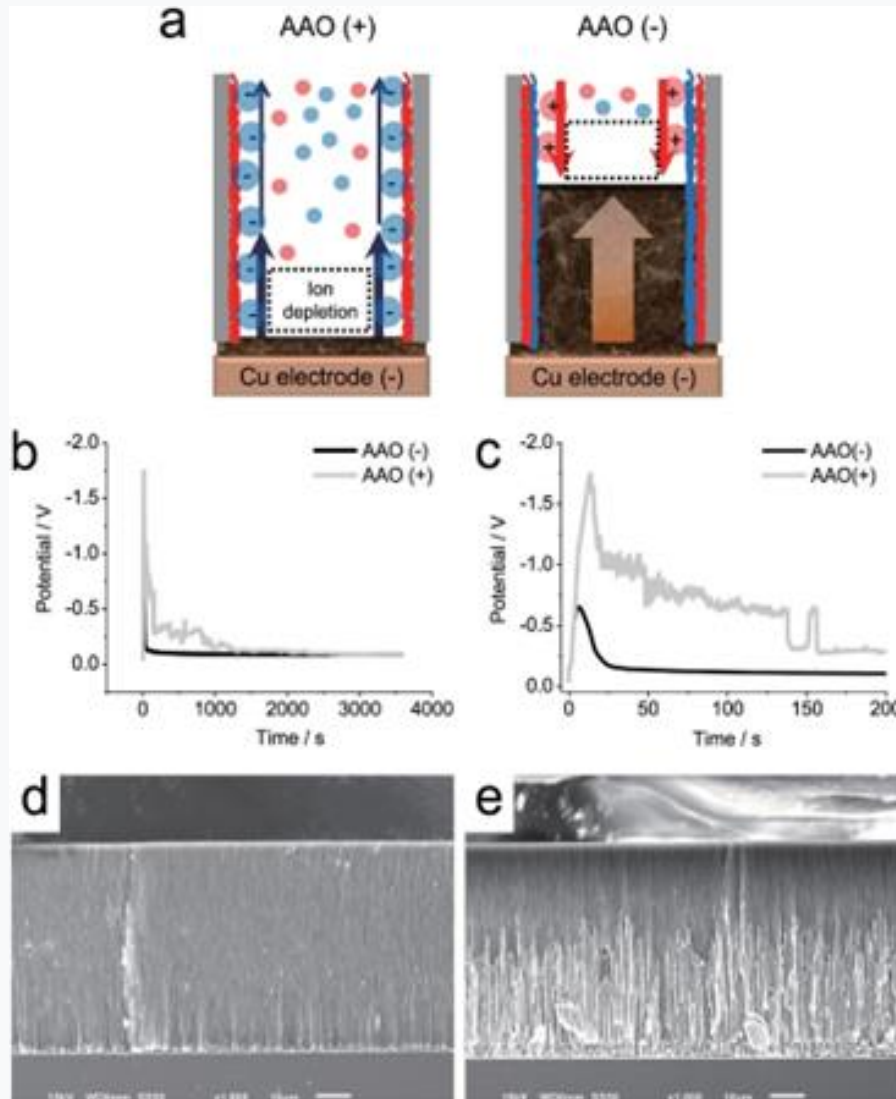


Figura 2.2.18. (a) Efectul SC asupra electrodepoziției în nanopori încărcăți în timpul OLC. (b) Curbele V-t ale AAO(+) și AAO(-) pentru un curent aplicat de -6 mA. (c) Mărirea datelor de la (b) pentru primele 200 de secunde. Imagini SEM ale nanofirelor de Cu electrodepuse în (d) AAO (+) și (e) AAO (-). (sursa: Han, Ji-Hyung & Khoo, Edwin & Bai, Peng & Bazant, Martin. (2014). Over-limiting Current and Control of Dendritic Growth by Surface Conduction in Nanopores. Scientific reports. 4. 10.1038/srep07056 .)

Soluție: Operatorul trebuie să se asigure că proba nu are bule de aer sau gaz prinse înainte de a începe procesul de lustruire, apoi ajustează agitația și temperatura electrolitului pentru a preveni formarea de bule.



Modele rezultate din Gravare sau Dungi

Problemă: pe suprafața lustruită pot apărea modele de gravare nedorite sau dungi, adesea din cauza condițiilor de lustruire inconsecvente.



Figura 2.2.19. dungi pe SS304 prelucrat după electrolustruire (sursa: Global Spec)

Soluție: operatorul trebuie să mențină parametrii electrici stabili și să controleze fluxul de electrolit pentru a asigura o distribuție uniformă. Curățați și pregătiți corespunzător proba pentru a evita variațiile în compoziția suprafeței.

Strălucire sau luminozitate inadecvată

Problemă: Dacă suprafața lustruită nu are luciul sau luminozitatea dorită, aceasta poate rezulta din compoziția sau condițiile de electroliti necorespunzătoare.

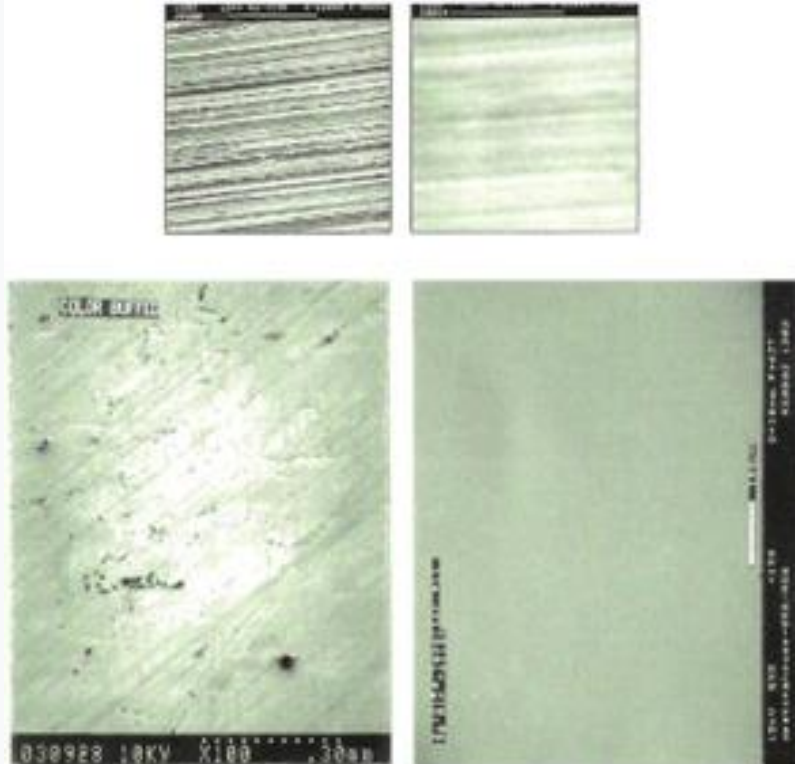


Figura 2.2.20. Fotomicrografii optice (sus) și SEM (jos) care arată transformarea suprafeței rugoase lustruite mecanic din stânga până la finisarea netedă după electro-lustruire (sursa: Global Spec)

Soluție: Operatorul trebuie să ajusteze compoziția soluției de electrolit pentru a îmbunătăți rezultatul lustruirii. Experimentați cu diferiți parametri, cum ar fi temperatura, tensiunea și curentul, pentru a obține finisajul dorit.

Probleme de siguranță

Problemă: Pot apărea probleme de siguranță dacă nu sunt respectate măsurile de siguranță adecvate atunci când lucrați cu substanțe chimice și echipamente electrice.



Figura 2.2.21. Echipament de protecție (sursa: Micro Lit)

Soluție: Operatorul trebuie să urmeze întotdeauna instrucțiunile de siguranță și să poarte echipamentul adecvat de protecție personală, să lucreze într-o zonă bine ventilată și să fie instruit cu privire la manipularea corespunzătoare a substanțelor chimice și a echipamentelor.

2.2.4. Manipularea și eliminarea electroliților din lustruirea electrolitică

Un operator sau un specialist metalografi trebuie să urmeze proceduri specifice pentru manipularea și eliminarea în siguranță a electroliților utilizați la lustruirea electrolitică.



Figura 2.2.22. Soluții electrolitice (sursa: Micro Lit)

Manipularea Electroliților din Lustruirea Electrolitică

Operatorul sau specialistul trebuie să efectueze manipularea electroliților într-o zonă bine ventilată, cum ar fi o hotă sau un spațiu cu o bună ventilație a încăperii, pentru a minimiza expunerea la fum sau vapori. Recipientele care conțin electroliți trebuie să fie etichetate clar

cu numele, compoziția, pericolele și orice măsuri de precauție necesare la manipulare. Trebuie folosite etichete specifice și înregistrări ar trebui menținută. Este important să depozitați electroliții în recipiente rezistente la substanțe chimice concepute în acest scop. Recipientele din sticlă sau plastic sunt alegeri comune.



Figura 2.2.23. Electrolit C+ (sursa: Micro Lit)

Operatorii sau specialiștii trebuie să evite contactul direct al pielii cu electrolitul. Dacă are loc contactul, este esențială clătirea imediată a zonei afectate cu multă apă. Când manipulează electroliți, operatorul trebuie să se abțină de la mâncare, băutură sau fumat pentru a preveni ingerarea accidentală. Când transferați sau amestecați electroliții, trebuie să aveți grijă pentru a evita stropirea sau accidentele. Este indicat să adăugați acizi în apă, nu invers. Operatorul sau specialistul trebuie să se asigure că materialele utilizate pentru manipularea electroliților (recipiente, agitatoare etc.) sunt compatibile cu electrolitul specific și nu vor reacționa cu acesta.

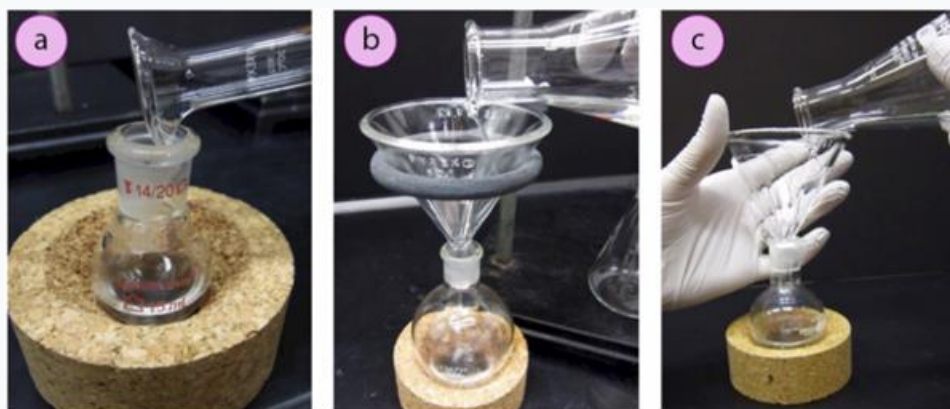


Figura 2.2.24. Turnarea lichidului, b) Turnarea într-o pâlnie ținută cu clemă inelară, c) Turnarea într-o pâlnie ținută cu mâna. (sursa: Micro Lit)

Tot personalul care lucrează cu electroliți din lustruirea electrolitică ar trebui să fie educat cu privire la riscuri și procedurile de siguranță. Formarea continuă și conștientizarea sunt cruciale.

Respectarea reglementărilor cu eliminarea electroliților din lustruirea electrolitică

Operatorii sau specialiștii metalografi trebuie să respecte reglementările locale, statale și federale care reglementează eliminarea deșeurilor periculoase. Aceste reglementări pot varia în funcție de locație. Diferiții electroliți trebuie păstrați separat, iar amestecarea în timpul eliminării trebuie evitată. În cazurile în care este necesară neutralizarea, persoana ar trebui să urmeze liniile directe privind compatibilitatea chimică pentru neutralizarea în siguranță. Dacă există incertitudine cu privire la metodele adecvate de eliminare, operatorii sau specialiștii ar trebui să se consulte cu un chimist calificat, cu un expert în eliminarea deșeurilor sau cu departamentul de sănătate și siguranță a mediului al organizației lor. Containerele pentru deșeuri trebuie să fie clar etichetate cu conținutul lor și orice pericole pentru a asigura o manipulare sigură în timpul eliminării.

Este esențial să vă asigurați că containerele de deșeuri sunt bine sigilate pentru a preveni scurgerile sau scurgerile. Operatorii sau specialiștii ar trebui să organizeze preluarea și eliminarea deșeurilor periculoase prin servicii sau instalații de eliminare a deșeurilor autorizate și autorizate. Încercarea de a elimina în mod independent deșeurile periculoase nu este recomandată.

Menținerea înregistrărilor procesului de eliminare, inclusiv a datelor, metodelor de eliminare și a fișelor cu date de securitate relevante (SDS), este esențială pentru referință și conformitate. Operatorii sau specialiștii ar trebui să fie pregătiți pentru situații de urgență și să aibă la dispoziție truse de răspuns la scurgeri, dușuri de siguranță și stații de spălare a ochilor în zona în care sunt manipulați electroliții de la lustruirea electrolitică.

2.2.5. Depanare și sfaturi în probe metalografice de lustruire electrolitică

Lustruirea electrolitică a probelor metalografice este o etapă crucială în pregătirea materialelor pentru examinarea microscopică. Cu toate acestea, pot apărea probleme în timpul procesului (vă rugăm să consultați secțiunea anterioară), astfel în această secțiune vom menționa contaminarea probei, o problemă comună care apare în laboratoarele metalografice. Problema sunt contaminanții de pe eșantion care pot interfera cu procesul de

lustruire. Pentru a obține un proces de succes, operatorul trebuie să se asigure că proba nu conține contaminanți, să curețe toate echipamentele și să folosească soluții curate de electroliți. Alte defecte ale suprafeței, cum ar fi zgârieturile, fisurile și gropile, pot afecta semnificativ performanța și fiabilitatea materialelor metalice. Lustruirea electrolică joacă un rol vital în detectarea defectelor de suprafață, oferind o suprafață curată și netedă, care facilitează vizibilitatea și caracterizarea acestora.

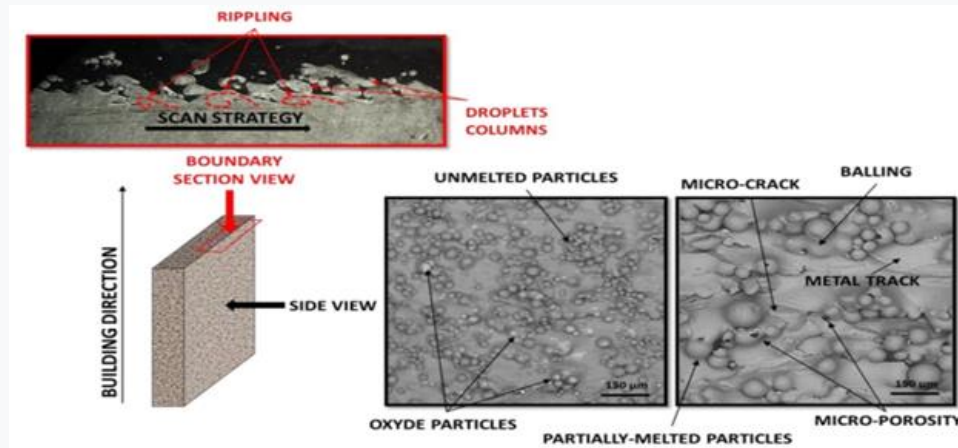


Figura 2.2.25. Reprezentarea defectelor de suprafață ale obiectelor fabricate aditiv (sursa: Acquesta, Annalisa & Monetta, Tullio. (2023). Green Approach for Electropolishing Surface Treatments of Additive Manufactured Parts: A Comprehensive Review. Metals. 13. 874. 10.3390/met13050874.)508

Îndepărtând neregularitățile de suprafață și contaminanții, lustruirea electrolică sporește contrastul dintre defecte și materialul din jur. Acest lucru permite identificarea precisă, măsurarea și evaluarea defectelor de suprafață.

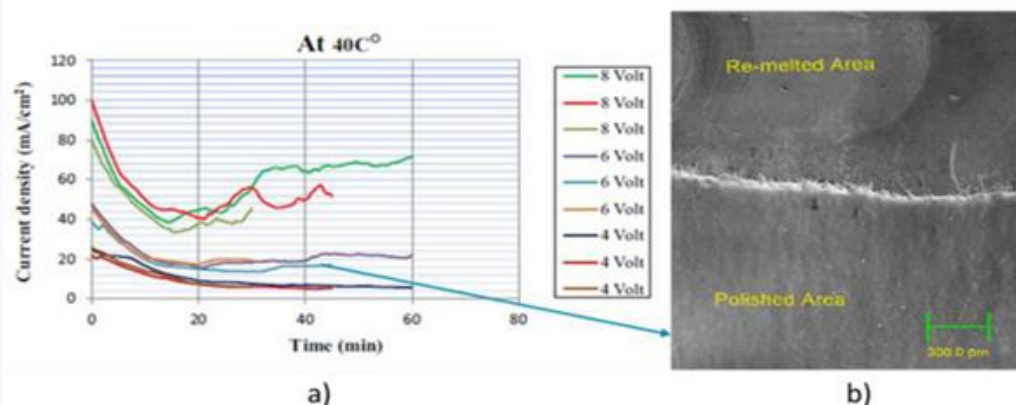


Figura 2.2.26. Curbele crono – amperometrice obținute efectuând tratamentul EP la 6 V la 40 °C pentru o durată de timp cuprinsă între 30 și 60 min. (b) Imagine SEM a eșantionului electropolizat, aplicând o tensiune de 6 V la o temperatură de 40 °C pentru o durată de 45

min. (sursa: Acquesta, A.; Monetta, T. Green Approach for Electropolishing Surface Treatments of Additive Manufactured Parts: A Comprehensive Review. *Metals* 2023, 13, 874.

<https://doi.org/10.3390/met13050874>)

Capacitatea de a detecta și caracteriza defectele de suprafață este crucială pentru evaluarea calității, durabilității și adecvării materialului pentru aplicații specifice.

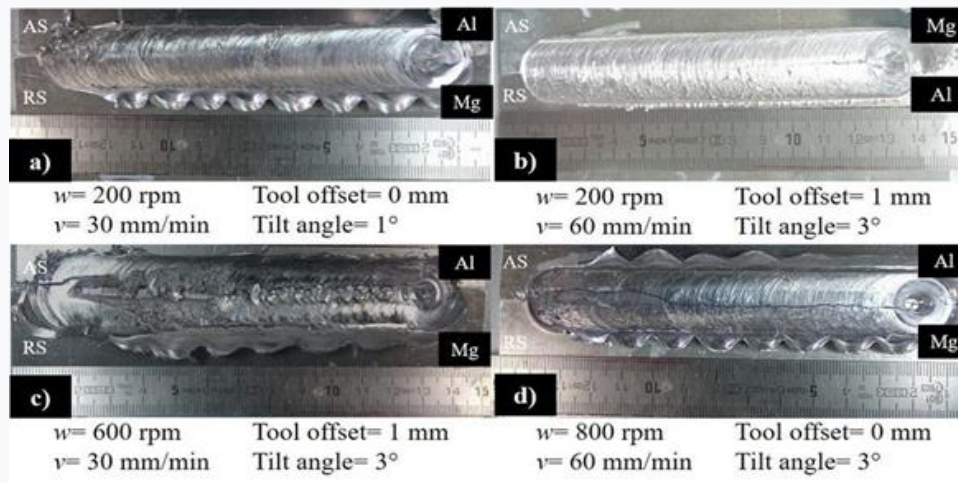


Figura 2.2.27. Defecte ale sudurilor, a) tamburare excesivă, b) fisurare, c) lipsă de umplere a suprafeței și tăvăluire excesivă și d) Fisura și tăvăluire excesivă. (Partea de avansare: AS și partea de retragere: RS) (sursa: Hernández-García, D. & Saldaña Garcés, Rocio & Vázquez, F.J. & Gutiérrez-Castañeda, E.J. & Deaquino-Lara, R. & Verdera, David . (2017). Friction Stir Welding of Di-similar AA7075-T6 to AZ31B-H24 Alloys. *MRS Advances*. 2. 1-9.

10.1557/adv.2017.609.)

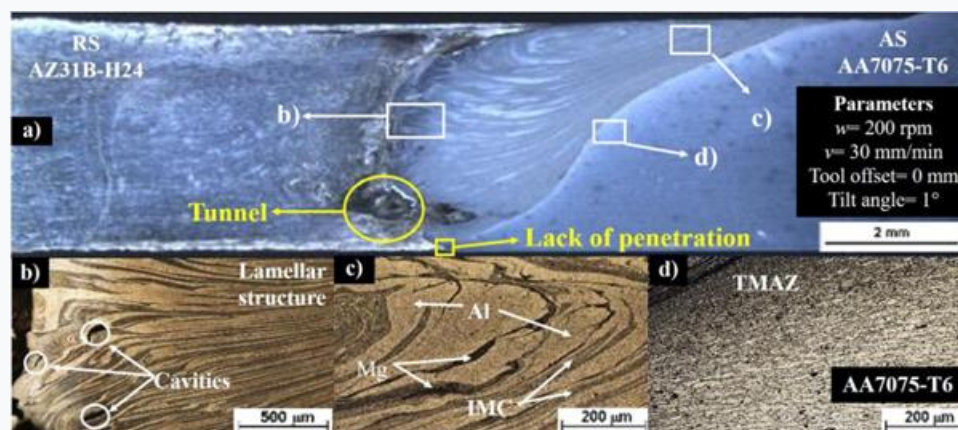


Figura 2.2.28. Micrografii ale secțiunii transversale ale îmbinării diferite de AA7075-T6 la AZ31B-H24 de către FSW, cu defecte interne cum ar fi tuneluri, lipsă de penetrare (a) și cavități (b), în (c) se arată dispersia dintre Mg și Al în SZ; iar în (d) se poate observa o scădere cu aproximativ 70% a mărimii granulelor zonei afectate termomecanic (TMAZ) (sursa:



Hernández-García, D. & Saldaña Garcés, Rocio & Vázquez, F.J. & Gutiérrez, E.J. & Deaquino-Lara, R. & Verdera, David. (2017). Friction Stir Welding of Dis-similar AA7075-T6 to AZ31B-H24 Alloys. MRS Advances. 2. 1-9. 10.1557/adv. .2017.609.)

Sfaturi generale

- ✓ Operatorul trebuie să pregătească în mod corespunzător proba, îndepărtând orice contaminanți de suprafață și efectuând lustruirea mecanică inițială pentru a elimina defectele majore.
- ✓ Operatorul trebuie să adapteze compoziția electrolitului în funcție de metalul specific care este lustruit, diferite metale pot necesita electroliți diferiți.
- ✓ Operatorul trebuie să asigure distribuția uniformă a electrolitului prin agitarea acestuia pentru a preveni stagnarea sau formarea de bule de gaz.
- ✓ Operatorul trebuie să monitorizeze continuu procesul de lustruire pentru a obține finisajul dorit și să folosească cronometre, dacă este necesar, pentru a preveni supra-lustruirea.
- ✓ Operatorul trebuie să respecte instrucțiunile de siguranță, să poarte echipament individual de protecție adecvat și să lucreze într-o zonă bine ventilată atunci când manipulează substanțe chimice și echipamente electrice.
- ✓ Operatorul ar trebui să experimenteze cu setările de tensiune, curent și temperatură pentru a găsi condițiile ideale pentru cerințele dumneavoastră specifice de metal și finisaj.
- ✓ Operatorul trebuie să păstreze înregistrări detaliate ale procesului de lustruire, inclusiv parametrii, compoziția electroliților și orice probleme întâlnite, pentru a ajuta la depanarea și îmbunătățirea procesului.
- ✓ Întreținerea trebuie să întrețină și să curețe în mod regulat echipamentul de lustruire, inclusiv electrozii și sursa de alimentare, pentru a asigura o performanță constantă.

2. 2.6. Exemple reale de lustruire electrolitică și gravare colorată

Lustruirea electrolitică este utilizată în mod obișnuit în diverse aplicații din lumea reală pentru a obține un finisaj de înaltă calitate a suprafeței probelor de metal. În laboratoarele de

metalurgie, lustruirea electrolică este utilizată pentru a pregăti probe metalografice pentru examinarea microscopică. Această tehnică permite metalurgiștilor să studieze microstructura metalelor, cum ar fi examinarea granițelor, fazelor și incluziunilor, care este esențială pentru controlul calității și analiza materialului. Industriile aerospațiale și de automobile folosesc lustruirea electrolică pentru a pregăti mostre de metal pentru teste nedistructive (NDT). Aceasta include inspectarea integrității materialelor, sudurilor și componentelor prin tehnici precum testarea cu colorant penetrant și inspecția particulelor magnetice. Lustruirea electrolică este folosită în fabricarea semiconductoarelor pentru a pregăti pelicule sau plachete metalice subțiri pentru inspecție, microscopie electronică și difracție electronică. Se asigură că componentele semiconductoare au o suprafață netedă și fără defecte.



Figura 2.2.29. Sistem de lustruire și gravare electrolică (sursa: Metkton SUA)

Lustruirea electrolică este folosită în industria electronică pentru a crea o suprafață netedă și fără defecte pe componentele metalice, inclusiv conectorii și PCB-urile. Acest lucru este important pentru a asigura conexiuni electrice fiabile și pentru a reduce interferența semnalului. În producția de panouri solare și componente de turbine eoliene, lustruirea electrolică este utilizată pentru a pregăti suprafețele metalice, cum ar fi aluminiul sau cuprul, pentru o eficiență energetică îmbunătățită și rezistență la coroziune.



Lustruirea electrolică este utilizată pentru a pregăti componente metalice pentru sisteme optice și instrumente astronomice. Suprafețele netede și reflectorizante sunt vitale pentru telescoape, oglinzi și lentile pentru a obține observații și imagini precise.



Figura 2.2.30. ElectroMet 4 Polishing & Etching Demo (sursa: BuehlerMaterials)

Producătorii de implanturi și dispozitive medicale folosesc lustruirea electrolică pentru a îmbunătăți finisarea suprafeței componentelor metalice. Acest lucru este crucial pentru reducerea riscului de aderență bacteriană și pentru asigurarea biocompatibilității materialelor. În domeniul stomatologiei, lustruirea electrolică este folosită pentru a rafina suprafața protezelor dentare, cum ar fi coroanele, punțile și implanturile dentare. O suprafață netedă și lustruită ajută la reducerea riscului de formare a plăcii și îmbunătățește confortul pacientului.

2.7. Gravura colorată – scop, aplicare și demonstrație

Gravarea colorată este o tehnică utilizată în metalografie pentru a colora sau colora selectiv diferiți constituenți microstructurali dintr-un material metalic. Prin folosirea unor gravatori specifici, tehnica îmbunătățește vizibilitatea și contrastul diferitelor faze, incluziuni și granițe.



Figura 2.2.30. Tehnici macroscopice (sursa: MaterialScience2000)

Gravarea colorată joacă un rol crucial în metalografie, oferind un mijloc de diferențiere și evidențiere a diferiților constituenți microstructurali. Ajută la identificarea fazelor, incluziunilor, granițelor și a altor caracteristici care pot fi dificil de distins în probele neatașate. Această vizibilitate îmbunătățită permite o analiză și o înțelegere mai cuprinzătoare a structurii și proprietăților materialului. În plus față de identificarea fazelor, gravarea colorată permite caracterizarea mărimii granulelor, a limitelor granulelor, a particulelor din a doua fază și a altor parametri microstructurali. Facilitează evaluarea omogenității microstructurale, detectarea fazelor de segregare sau intermetalice și analiza defectelor sau anomaliilor materialelor. Permite observarea și examinarea îmbunătățite la microscopie optică sau electronică, facilitând o mai bună înțelegere a compoziției, structurii și proprietăților materialului.

Principiile formării culorii

Agenții pot reacționa diferit cu constituenții din cauza unor factori precum compoziția chimică, orientarea cristalografică și starea suprafeței. Aceste interacțiuni pot duce la



formarea de compuși sau complecși colorați pe suprafața caracteristicilor microstructurale, făcându-le mai vizibile și mai distinse.

Principiile formării culorii în gravarea colorată se bazează pe interacțiunea dintre agent de gravare și constituenții microstructurali. Culoarea apare din cauza absorbției, reflexiei sau interferenței unor lungimi de undă specifice ale luminii de către compușii colorați sau complecșii formați la suprafață.

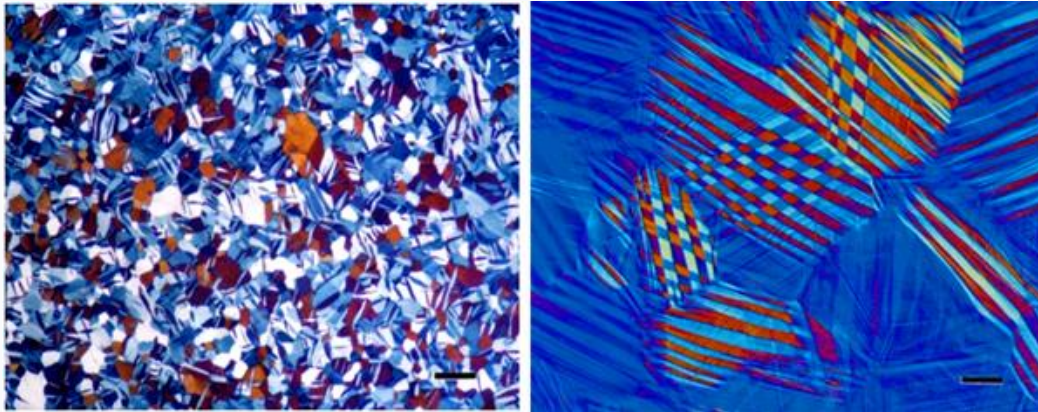


Figura 2.2.31. (stânga) și Figura 2.2.32. (dreapta): Structură de granule pe Zr de înaltă puritate (stânga) care a fost prelucrată la cald și trasă la rece (de remarcat gemeni mecanici) și văzută în lumină polarizată și din Au – 19Cu-5Al care a fost lustruită și ciclată prin efectul de memorie a formei la producerea de jder și iluminarea de interferență diferențială Nomarski a fost utilizată pentru a imagina deformarea suprafeței din cauza reacției de forfecare la suprafața liberă. Barele de mărire sunt de 100 și, respectiv, 50 μm (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Culorile produse de agravanții de culoare (nuanță) sunt vizibile sub iluminare cu câmp luminos și, în multe cazuri, îmbunătățirea suplimentară este obținută folosind lumina polarizată. Culorile sunt dezvoltate prin interferență în același mod ca și cu nuanțarea la căldură sau depunerea în vid. După cum s-a menționat, culoarea este determinată de grosimea filmului, de obicei în secvența de galben, roșu, violet, albastru și verde atunci când este vizualizată folosind lumină albă. Cu sistemele anodice, pelicula se formează numai peste faza anodică, dar grosimea sa poate varia în funcție de orientarea cristalografică a fazei. Pentru sistemele catodice, deoarece grosimea filmului peste faza catodică este în general consistentă, este produsă o singură culoare, care va varia pe măsură ce filmul crește în timpul gravării. Prin urmare, pentru a obține aceeași culoare de fiecare dată, durata de gravare



trebuie să fie constantă. Acest lucru poate fi realizat prin cronometrarea gravării și observând culoarea macroscopică a specimenului în timpul colorării.

Pregătirea Probei cu Gravură colorată

Etapele de pregătire metalografică sunt aceleași ca în procesul anterior urmat de gravare metalografică.

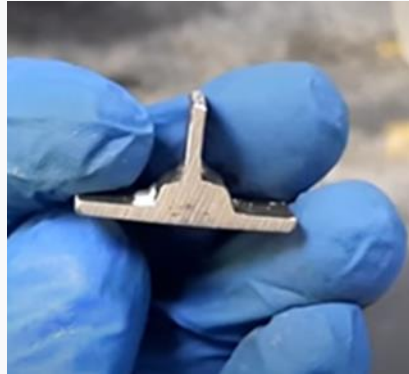


Figura 2.2.33. Pregătirea probei pentru gravarea colorată (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Gravarea metalografică se realizează pe suprafața lustruită prin gravarea cu reactivi corespunzători materialelor probei sudate care dizolvă sau colorează selectiv constituenții prezenți, făcându-i distinși unul de celălalt. Gravarea se realizează prin tamponarea suprafeței epruvetei cu o bucată de vată înmuiată în reactivi. Scopul operației este de a dezvălui structura cristalină.

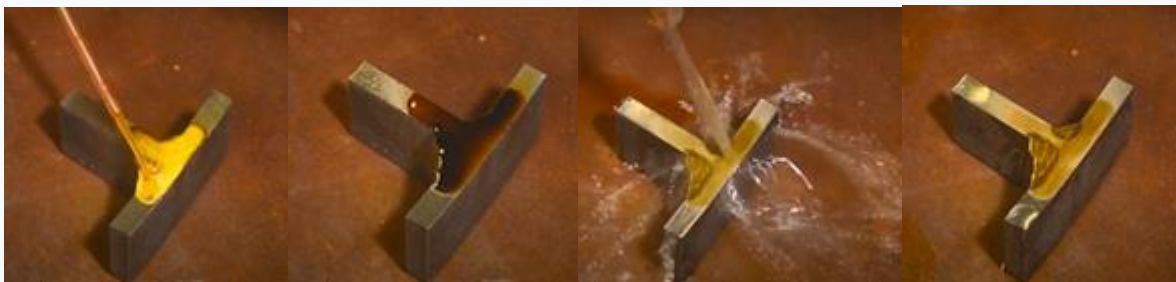


Figura 2.2.34. Gravarea culorii sudură (sursă: metalografie colorată Vac Aero)

2. 2.8. Practică cu Gravură colorată

Materiale și echipamente utilizate la gravarea colorată a probelor metalografice:

- ✓ probe metalografice (în mod obișnuit eșantioane de metal preparate, montate și lustruite);

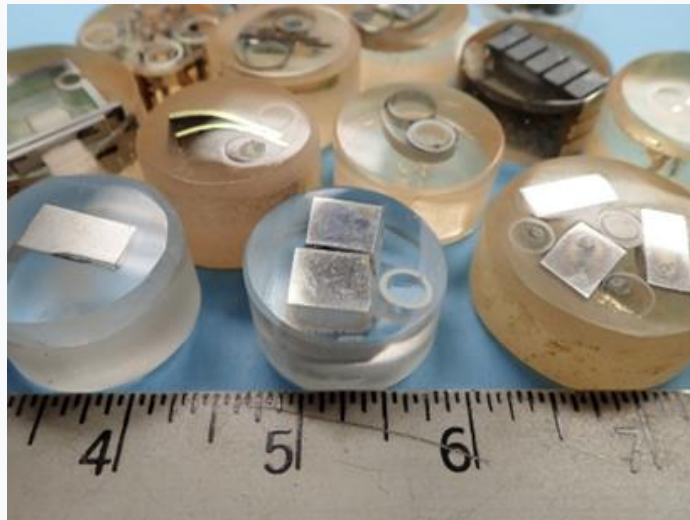


Figura 2.2.35. Mostre metalografice (sursa: Metallurgical Engineering Services, Inc.)

- ✓ reactivi chimici special formulați pentru a reacționa cu diferite faze sau constituenți din metal pentru a produce culori;

Name	Chemical Composition
Nital	4% solution of nitric acid in ethanol
Pikral	4% solution of picric acid in ethanol
Klemm	50 ml ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ w H}_2\text{O}$) + 1g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$
LePera reagent	1:1 – pikral + 1% solution $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 \text{ w H}_2\text{O}$
Sodium metabisulfite	10% water solution $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$



Figura 2.2.36. Reactivi chimici (sursa: Micro Lit)

- ✓ mașini sau echipamente de șlefuit și lustruit, hârtie abrazivă și cârpe sau tampoane de lustruit,



Figura 2.2.37. Mașini sau echipamente de șlefuit și lustruit, hârtie abrazivă
(sursa: Kemet International Ltd)



- ✓ echipament individual de protecție (EIP), cum ar fi ochelari de protecție, mănuși și halat de laborator,
- ✓ microscop pentru examinarea probelor gravate,



Figura 2.2.38. Microscop metalografic (sursa: Olympus)

- ✓ articole din sticlă de laborator pentru depozitarea și manipularea decapanților,



Figura 2.2.39. Sticle de laborator (sursa: Kemet International Ltd)

- ✓ apă distilată pentru clătirea probelor,



Figura 2.2.40. Apă distilată (sursa: Micro Lit)

- ✓ cronometru sau ceas pentru a asigura timpi precisi de gravare,
- ✓ materiale rezistente la substanțe chimice, cum ar fi recipiente din polietilenă sau polipropilenă pentru manipularea agentului de gravare,



Figura 2.2.41. Acid Etch Sticle din plastic PET 13g Borcan de depozitare din plastic cu capac cu filet din PP (sursa: Micro Lit)

- ✓ spațiu de lucru ventilat pentru a minimiza expunerea la fum și pentru a asigura eliminarea corespunzătoare a substanțelor chimice,

Procedura de gravare colorată

Pregătirea mostrelor:

- Specialistul ar trebui să înceapă cu mostre metalografice bine pregătite care au fost montate și lustruite la un nivel ridicat de finisaj.
- Specialistul trebuie să se asigure că probele sunt curate și lipsite de orice contaminanți sau reziduuri.



Figura 2.2.42. Pregătirea probei și exemplul de eșantion (sursa: Kemet Interna-tional Ltd)

Selecție de Acid colorat:

- Specialistul ar trebui să aleagă gravarea colorată potrivită în funcție de metalul specific și de caracteristicile pe care doriți să le dezvăluiți.
- Specialistul ar trebui să se refere la instrucțiunile producătorului sau la resursele publicate pentru informații despre agenții de gravare adecvați pentru aplicația dvs.

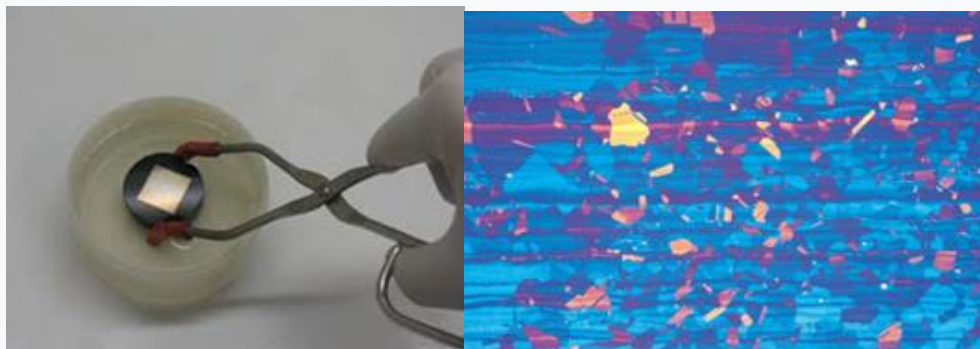


Figura 2.2.43. Eșantion de gravare (dreapta) și oțel înalt aliat (stânga) gravat cu agenți de gravare de culoare (Beraha, Lichtenegger), cu leșie V2A sau acid clorhidric Adler care conține acid clorhidric (sursa: Struers)

Pregătirea acidului:

- Specialistul ar trebui să urmeze cu atenție instrucțiunile producătorului pentru prepararea gravatorului colorat.
- Este posibil ca unii agenți să fie amestecați cu un anumit solvent sau pregătiți la o anumită concentrație.

Tipuri obișnuite de agravanți colorați (vă rugăm să consultați anexa)



Multe metale gravate cu reactivi standard pentru a dezvălui limitele granulelor produc adesea doar un procent mare din limite, mai degrabă decât toate limitele. Totuși, gravurile de culoare dezvăluie complet structura granulației. În cazul metalelor cu gemeni de recoacere, poate fi foarte dificil să se evalueze dimensiunea granulelor atunci când un gravator standard dezvăluie o porțiune din granule și limitele gemene. De fapt, poate fi destul de dificil să se efectueze o măsurare precisă a mărimii granulelor, chiar și manual, cu un astfel de specimen, pentru a face distincția între granulele și granițele gemene (acestea din urmă trebuie ignorate în măsurare). Cu toate acestea, cu o microstructură gravată în culoare, este relativ ușor să separați granulele de limitele gemene, cel puțin manual.

În plus, filmele cresc în funcție de orientarea cristalului. Prin urmare, se poate detecta orice orientare cristalografică preferată prin îngustimea gamei de culori prezente. Dacă o gamă largă de culori este prezentă într-un model aleatoriu, orientarea cristalului este aleatorie. Dacă în granule este prezentă o gamă restrânsă de culori, atunci este prezentă o orientare preferată.

Pregătirea probei trebuie să fie mai bună atunci când se utilizează metode color decât în cazul metodelor alb-negru, deoarece filmele crescute epitaxiale sunt sensibile la deteriorarea reziduală indusă de pregătire care nu a fost îndepărtată. Acest nivel de pregătire este necesar în munca de analiză a imaginii și poate fi obținut cu ușurință de un expert metalografic cu cunoștințe cu echipamentul adecvat. Lustruirea electrolică nu este necesară pentru a obține suprafețe fără deteriorare.

Cei mai obișnuiți agenți de gravare a nuanței sunt cei care depun pe specimen o peliculă de interferență pe bază de sulfură. Acestea sunt cele mai cunoscute gravuri de nuanță și, de obicei, cele mai ușor de utilizat. Klemm și Beraha au dezvoltat cei mai folosiți agenți de gravare pe bază de sulfură folosind tiosulfat de sodiu, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ și metabisulfid de potasiu, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$.

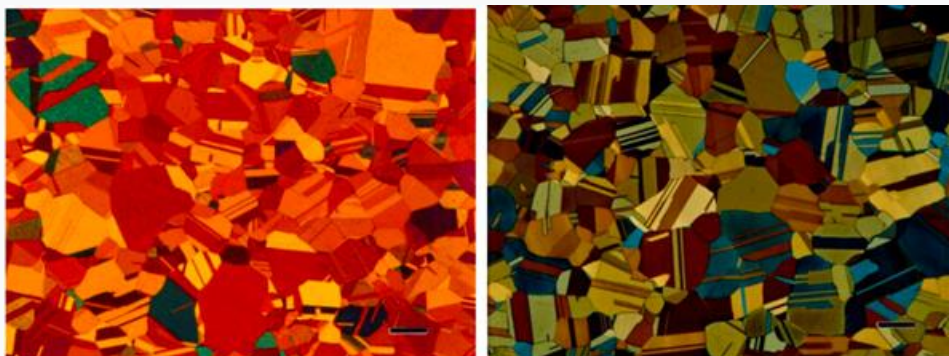




Figura 2.2.44. și Figura 2.2.45. Structura cu granule duble FCC din alamă cartuș, Cu – 30% Zn, după reducerea la rece cu 50% și recoacere completă, nuanță gravată cu reactivi Klemm's I (stânga) și Klemm's III (dreapta) și vizualizate cu lumină polarizată plus nuanță sensibilă. Barele de mărire au lungimea de 200 μm , respectiv (sursă: Vac Aero Colored Metallography)

Klemm I, II, III (Figurile 2.2.12 și 2.2.13) și unul dintre reactivii lui Beraha utilizează ambele ingrediente (Figura 2.2.13), în timp ce Beraha recomandă o gamă de concentrații de HCl utilizate cu metabisulfid de potasiu (Figura 2.2. 14) pentru gravarea unei varietăți de aliaje pe bază de fier.

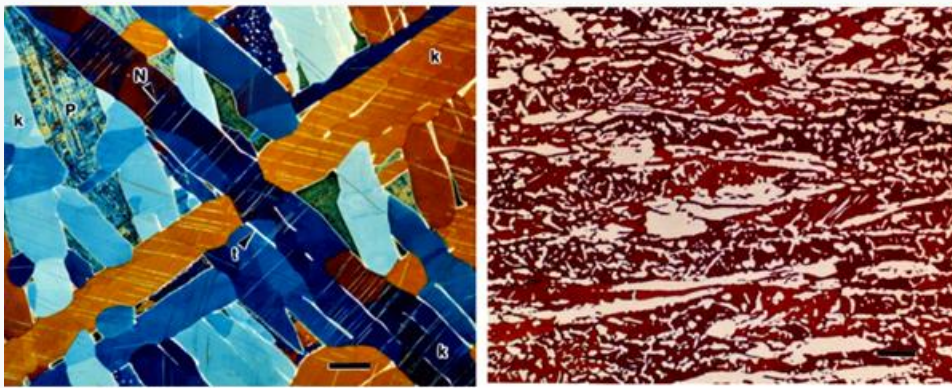


Figura 2.2.46. și Figura 2.2.47. : Structura fină de granule octaedrită a meteoritului Gibeon (stânga) dezvăluită cu reactivul lui Beraha (100 ml apă, 10 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ și 3 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$) și ferită în o placă de oțel inoxidabil duplex 7 Mo PLUS revelată folosind reactivul Beraha (85 ml apă, 15 ml). HCl, 1 g $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$). Barele de mărire au lungimea de 500 și respectiv 50 μm [2.2.10].

Acești agenți de gravare pot fi utilizați pentru a colora ferita și martensita în fontă, carbon și oțeluri slab aliate. Reactivii pe bază de HCl variază foarte mult în concentrație și pot fi utilizați pentru a colora structurile granulare ale oțelurilor inoxidabile (2.2.15), aliajelor pe bază de Ni și Co. Metabisulfidul de sodiu a fost utilizat într-un număr de concentrații, de la aproximativ 1 până la 20 g la 100 ml apă și este o gravare sigură, fiabilă și utilă pentru fier și oțel. (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

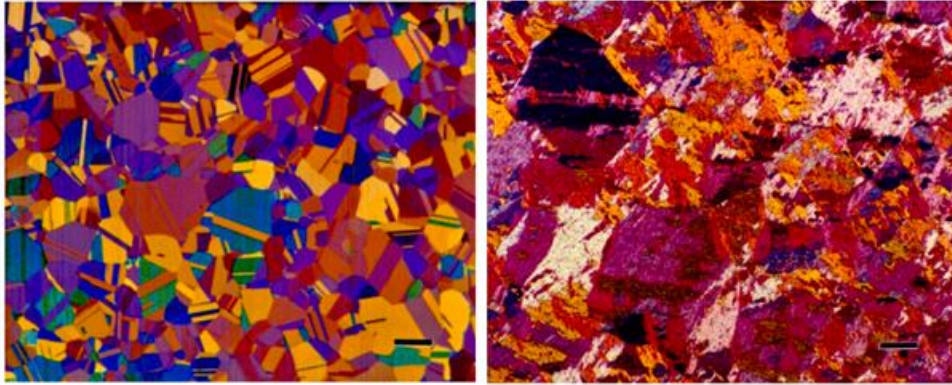


Figura 2.2.48. și 2.2.49: Structura de granulație dublată FCC de oțel inoxidabil Custom Flo 302 de calitate superioară dezvoltată folosind reactivul B1 Beraha și structura granulelor de martensită șipci din oțel cu rezistență ultra-înaltă AerMet 100 supraustenizat (1093 °C), dezvoltată folosind metabisulfid de sodiu 10%. Ambele vizualizate cu lumină polarizată plus nuanță sensibilă. Barele de mărire au lungimea de 100 μm (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Beraha a dezvoltat, de asemenea, mordanți pe bază de acid sulfamic, un acid organic cu concentrație scăzută, care nu au fost foarte folosiți, deși sunt destul de folositori, de încredere și ușor de utilizat. Reactivii pe bază de acid sulfamic sunt aplicabili pentru fontă, oțeluri cu conținut scăzut de carbon și aliate, oțeluri pentru scule și oțeluri inoxidabile martensitice (Figura 2.2.17). Beraha a dezvoltat, de asemenea, două gravuri de nuanță destul de specializate care depun pelicule de sulfură de cadmiu (Figura 2.2.18) sau de sulfură de plumb (Figura 2.2.19) pe suprafețele oțelurilor și aliajelor pe bază de cupru. Acești doi gravatori sunt destul de folositori, deși toxici pentru a lucra. Reactivul său CdS este util pentru oțeluri carbon și aliate, oțeluri pentru scule și oțeluri inoxidabile feritice, martensitice și întăribile prin precipitare, în timp ce reactivul PbS face o treabă excelentă pe aliajele pe bază de cupru și poate fi folosit pentru a colora sulfurile din oțeluri, în alb (specimenul). este pregravat cu nital iar gravura colorează ma-trixul întunecat, astfel încât sulfurile albe să fie vizibile).

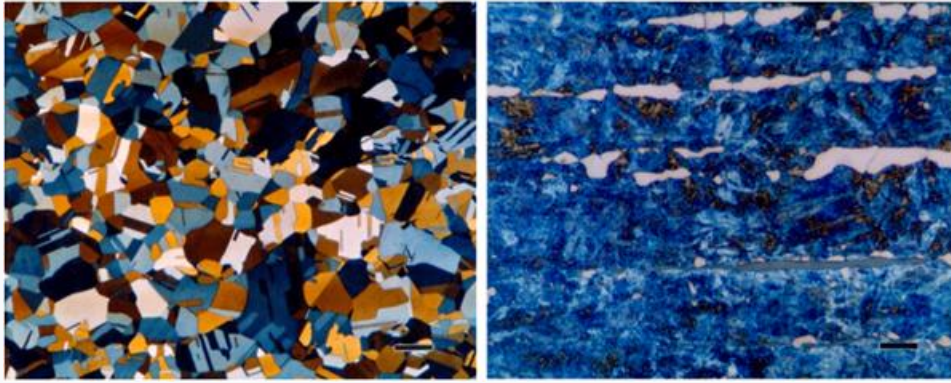


Figura 2.2.50. și 2.2.51: Structura de granule FCC înfrățită în Fe-39% Ni dezvăluită de reactivul de acid sulfamic al lui Beraha (stânga) și structura de granule de martensită temperată din oțel inoxidabil martensitic 416 revelată cu reactivul CdS al lui Beraha (dreapta). Boabele albe sunt ferită delta, iar incluziunile gri sunt sulfuri. Vizualizat cu lumină polarizată plus nuanță sensibilă. Barele de mărire au lungimea de 100, respectiv 200 μm (sursa: Struers)

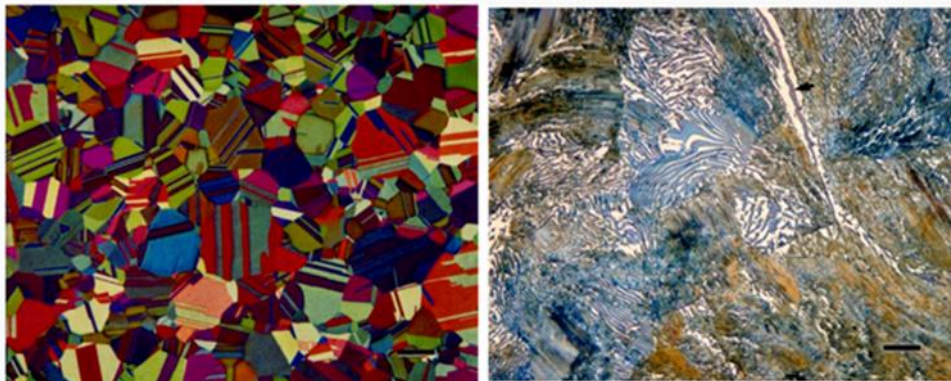


Figura 2.2.52. și 2.2.53: Micrografie din alamă cu cartuș prezentată în figurile 2.2.11 și 2.2.12 nuanță gravată cu reactiv PbS Beraha (stânga) și cementită într-un aliaj binar Fe-1% C laminat la cald colorat cu molibdat de sodiu Beraha reactiv (dreapta). Barele de mărire sunt de 200 și respectiv 20 μm , (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Beraha a dezvoltat, de asemenea, doi agenți de gravare de nuanță care utilizează ioni de molibdat în acid azotic. Ei colorează cementitul în oțeluri (Figura 2.2.52). El a dezvoltat, de asemenea, corovanți de nuanță care depun seleniu elementar pe suprafața oțelurilor (Figura 2.2.53), aliaje pe bază de nichel și aliaje pe bază de cupru (Figura 2.2.54).

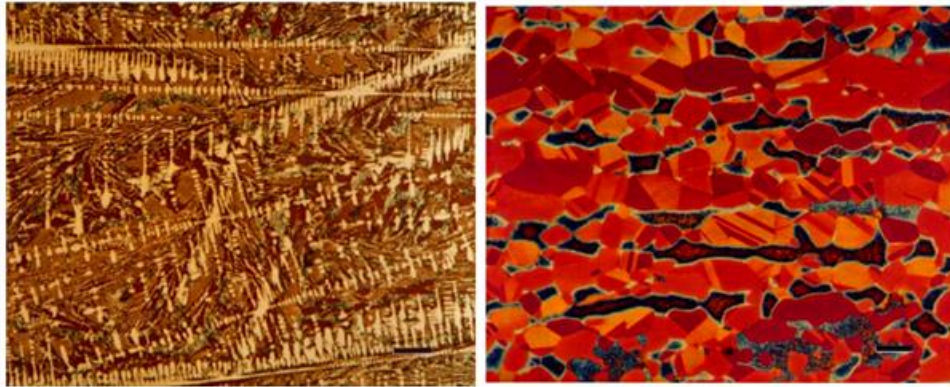


Figura 2.2.54. și 2.2.55: Cementită pe suprafața turnată la rece a fierului gri, gravată cu reactiv de acid selenic al lui Be-rahă pentru fontă (stânga) și fază alfa și fază beta FCC înfrățită (pestruită și conturată) în Cu-40% Zn dezvăluite folosind Beraha. reactiv acid selenic pentru aliaje de cupru. Barele de mărire au lungimea de 50, respectiv 20 μm (sursa: Struers)

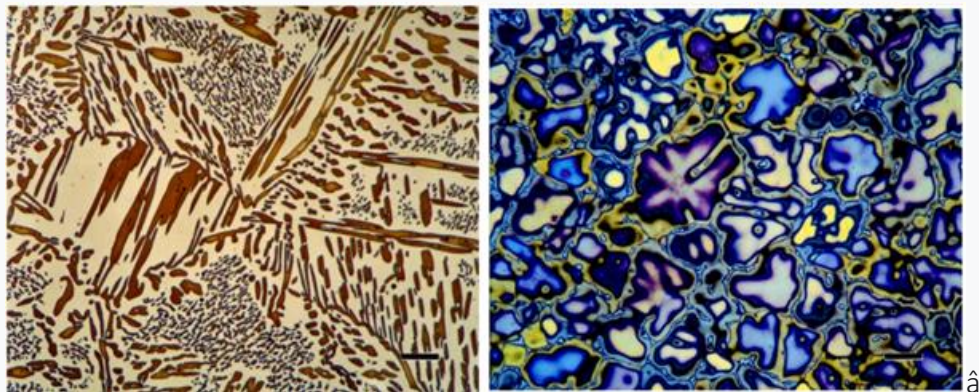


Figura 2.2.56. și 2.2.57: Austenită colorată în oțel inoxidabil duplex turnat de gradul 5A ASTM A890 cu reactivul LB1 (stânga) și structura granulară turnată din aluminiu 206 a dezvăluit utilizarea reactivului Weck pentru aliajele de Al (dreapta). Barele de mărire au lungimea de 100 și respectiv 50 μm , (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Weck a dezvoltat o serie de gravatori de nuanță, utilizând în același timp multe dintre ele în cercetarea ei. Mai multe au fost dezvoltate pentru a colora aluminiu (Figura 2.2.57) sau aliaje de titan (Figura 2.2.58). În fiecare caz, este mai ușor să dezvoltați o culoare bună cu aliajele turnate decât cu aliajele forjate. Doi agenți de gravare s-au dovedit utili pentru colorarea fazei teta, AlCu_2 , în aliajele Al-Cu; Lienard a dezvoltat unul dintre cele mai ușor de utilizat. Au fost dezvoltați mai mulți agenți de gravare de culoare pentru molibden (Figura 2.2.59) și pentru wolfram.

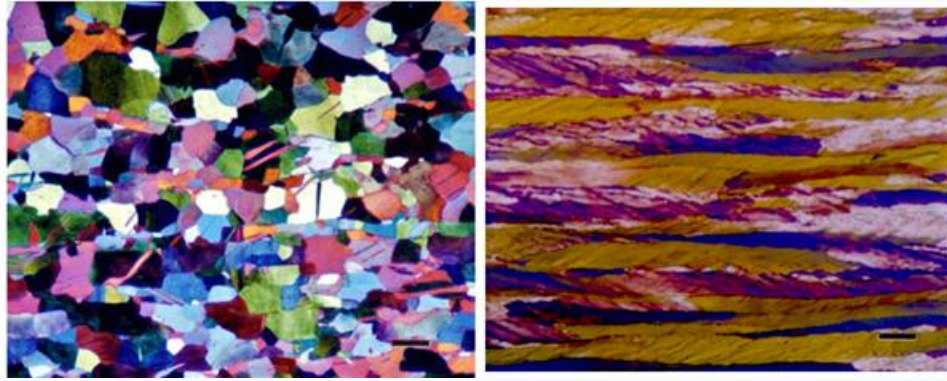


Figura 2.2.58. și 2.2.59: Structura granulară a CP Ti laminat (ASTM F67, grad 2) care conține gemeni mecanici (stânga) gravați cu reactiv Weck modificat și molibden pur laminat la rece (dreapta) colorat cu reactivul dezvoltat de Oak Ridge National Laborator. Barele de mărire au lungimea de 100, respectiv 20 μm (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Proces de gravare:

- Specialistul trebuie să scufunde proba metalografică lustruită în soluția colorată de gravare.
- Specialistul ar trebui să monitorizeze cu atenție procesul de gravare, timpul necesar pentru gravare variază în funcție de metal și de gravantul specific utilizat.
- Specialistul ar trebui să folosească un cronometru pentru a se asigura că timpul de gravare este precis.
- Specialistul ar trebui să îndepărteze proba din gravator la sfârșitul timpului de gravare predeterminat.

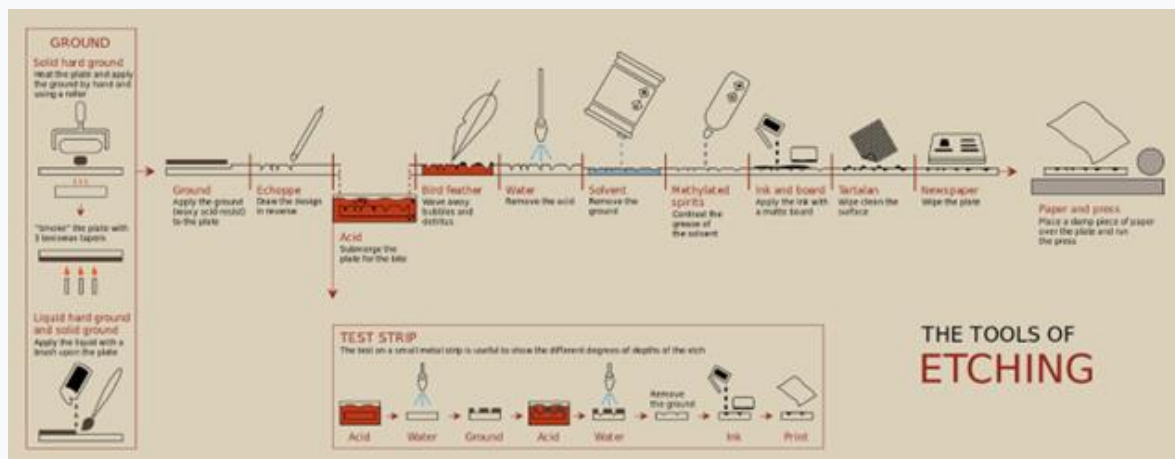




Figura 2.2.60. Instrumentele tehnicii moderne de gravare (sursa: Wikipedia)

Clătire și curățare:

- Specialistul trebuie să clătească bine proba gravată cu apă distilată pentru a îndepărta orice agent de gravare rezidual.
- Specialistul trebuie să folosească o perie moale sau un tampon de frecat pentru a curăța ușor suprafața dacă este necesar.



Figura 2.2.61. Apă distilată pentru clătirea probei (sursa: Mirco Lit)

Examinare microscopică:

- Specialistul trebuie să lase proba să se usuce sau să folosească aer comprimat pentru a elimina excesul de umiditate.
- Specialistul ar trebui să examineze proba gravată la microscop pentru a observa caracteristicile microstructurale colorate.
- Specialistul trebuie să documenteze și să fotografieze rezultatele pentru analiză și evidență.





Figura 2.2.62. Microscopie metalurgice (sursa: Nikon)

Repetabilitate și optimizare:

Dacă este necesar, specialistul ar trebui să repete procesul cu variații ale timpului de gravare sau al concentrației de gravare pentru a optimiza rezultatele și a îmbunătăți contrastul. Pregătirea corectă a probei și respectarea măsurilor de siguranță sunt esențiale pentru a obține rezultate precise și semnificative.

2.2.9. Probleme comune și soluție atunci când se utilizează gravarea colorată pentru prepararea probelor metalografice

Atunci când se utilizează gravarea colorată pentru prepararea probelor metalografice, este esențial să se controleze cu atenție condițiile de gravare, să se înțeleagă chimia agentului de gravare și să se mențină pregătirea meticuloasă a probei pentru a obține rezultatele dorite și o analiză microstructurală precisă. Experimentarea și practica sunt adesea necesare pentru a optimiza procesul de gravare pentru materiale și microstructuri specifice.

Probleme comune

Contrast inadecvat sau dezvoltare a culorii

Problemă: Proba gravată nu prezintă contrastul sau culorile așteptate.

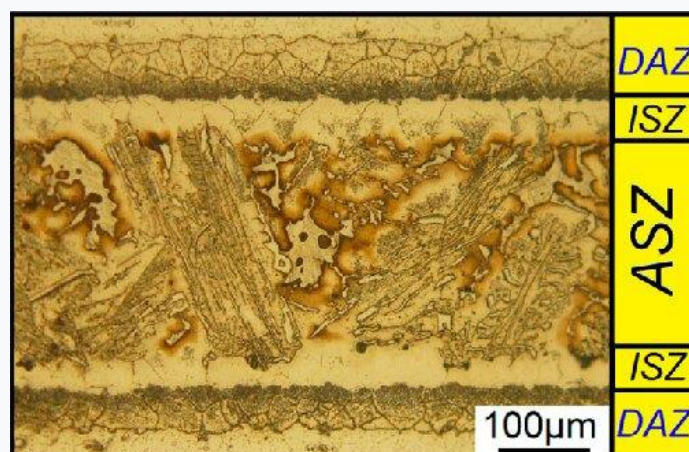


Figura 2.2.63. Micrografie optică care arată gradientul de microstructură în îmbinarea lipită HX/Ni-13Cr-4.5Si-4.2Fe-2.8B/HX. (sursa: Ghasemi, Ali & Pouranvari, Majid. (2018). Formarea fazei intermetalică în timpul lipirii unui aliaj de nichel folosind un aliaj de umplutură quinary



Ni–Cr–Si–Fe–B. Știința și tehnologia sudării și îmbinării. 24 . 1-10.

10.1080/13621718.2018.1553280.)

Soluție: Specialistul verifică compatibilitatea agentului de decapare cu metalul și microstructura specifică, trebuie să se asigure că concentrația și timpul de gravare sunt adecvate pentru eșantion. Luați în considerare agenți de gravare alternativi care pot oferi rezultate mai bune.

Gravarea excesivă

Problemă: Suprgravarea apare atunci când proba prezintă o dezvoltare excesivă a culorii, ceea ce face dificilă discernământul caracteristicilor microstructurale.

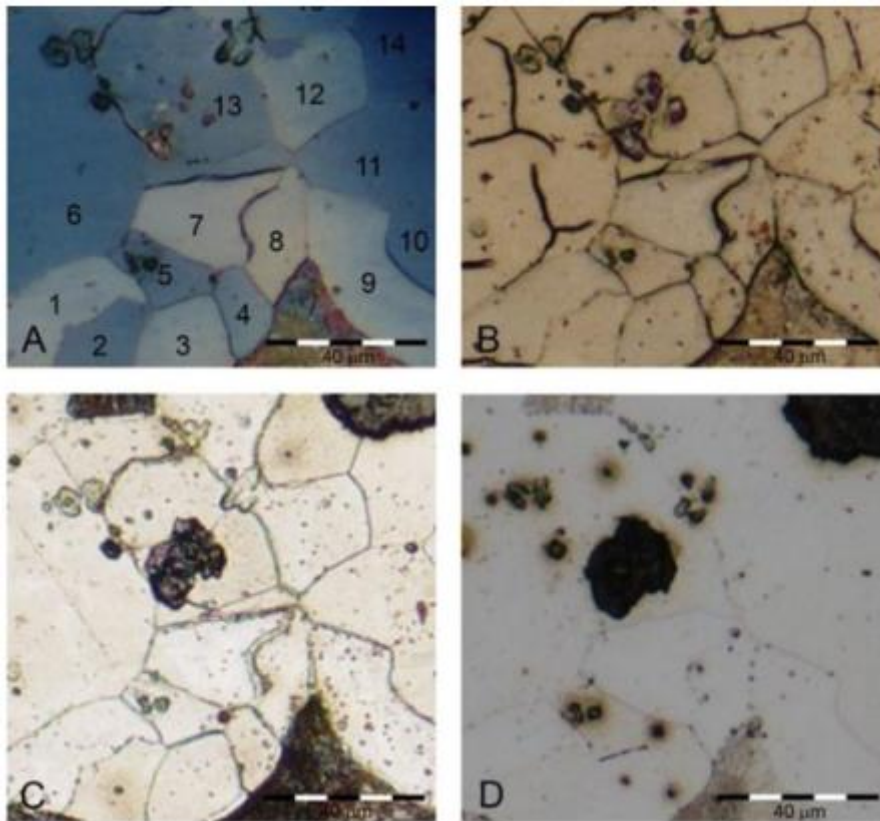


Figura 2.2.64. Micrografiile optice ale specimenului (A) după gravarea colorată cu soluția Beraha-I, (B) după suprgravarea cu soluția Beraha-I, (C) după îndepărtarea stratului de interferență cu acid sulfuric 1% și (D) după gravarea lui Nital. (sursa: Ghasemi, Ali & Pouranvari, Majid. (2018). Formarea fazei intermetalice în timpul lipirii unui aliaj de nichel folosind un aliaj de umplutură quinary Ni–Cr–Si–Fe–B. Știința și Tehnologia sudării și îmbinării. 24. 1 -10.

10.1080/13621718.2018.1553280.)



Soluție: Specialistul ar trebui să reducă timpul sau concentrația de gravare pentru a preveni supragravarea și să monitorizeze îndeaproape proba în timpul gravării pentru a evita dezvoltarea excesivă a culorii.

Gravarea insuficientă

Problemă: Eșantionul nu arată nivelul dorit de culoare sau contrast.

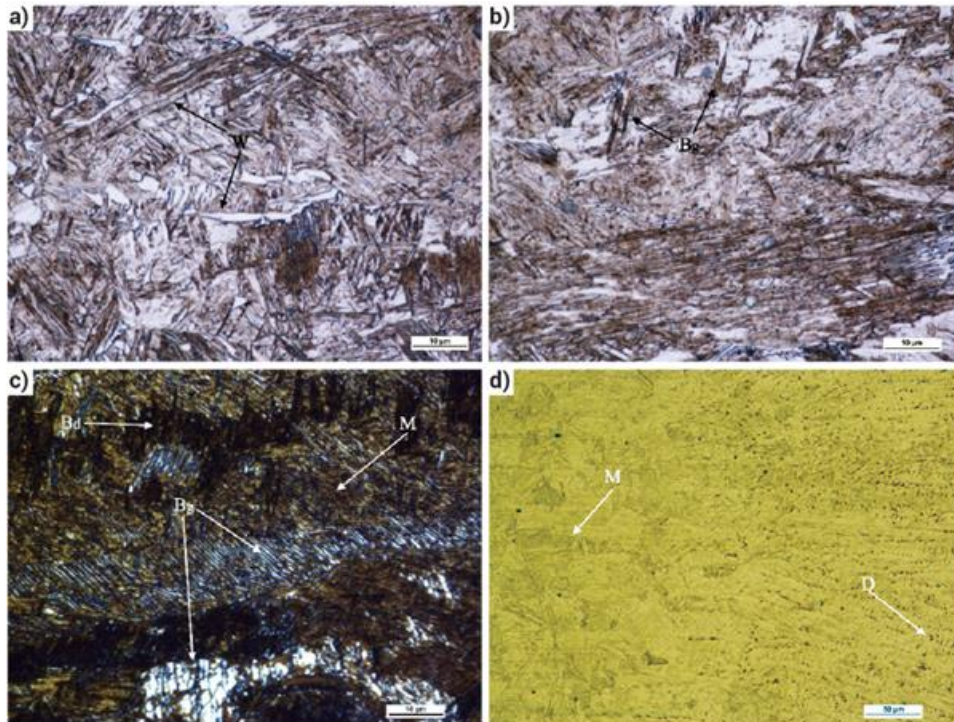


Figura 2.2.65. Microstructură de oțel TRIP, LOM: a) HAZ, Nital gravat, b) Zona de fuziune, Nital gravat, c) Zona de fuziune, Nital + reactiv Klemm gravat, d) Zona de fuziune și HAZ, Pikral gravat (sursa: Dobras, Daniel & Rutkowska- Gorczyca, Małgorzata. (2018). Aplicarea gravării culorii pentru studiul microstructurii oțelului TRIP după retopirea cu laser. Revederea tehnologiei de sudare. 90. 10.26628/wtr.v90i12.984.)

Soluție: Specialistul ar trebui să mărească timpul de gravare sau concentrarea pentru a obține contrastul dorit. El/ea trebuie să se asigure că suprafața probei este curățată corespunzător și fără contaminanți înainte de gravare.

Distribuție neuniformă a culorii



Problemă: Culoarele nu sunt distribuite uniform pe eșantion, rezultând variații în contrast.

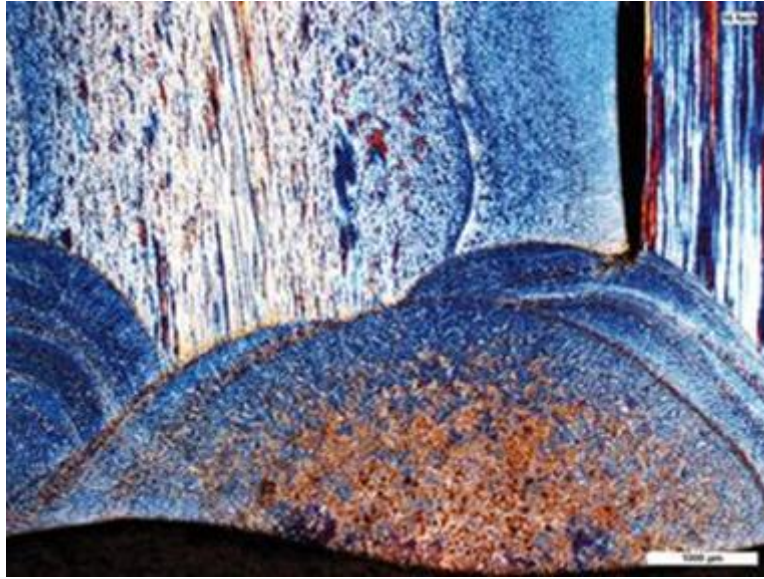


Figura 2.2.66. Gravare color a diferitelor zone de granule sau cristal mixt și straturi de sulfat de diferite grosimi - Conexiune prin sudare cu laser a diferitelor fire de oțel austenitic (B)
(sursa: Leica Microsystems)

Soluție: Specialistul ar trebui să îmbunătățească pregătirea probei, asigurând un finisaj consistent înainte de gravare și să agite soluția de gravare în timpul procesului pentru a menține o distribuție uniformă a culorii.

Patare sau decolorare

Problemă: Proba poate prezenta pete sau decolorări nedorite în timpul procesului de gravare.

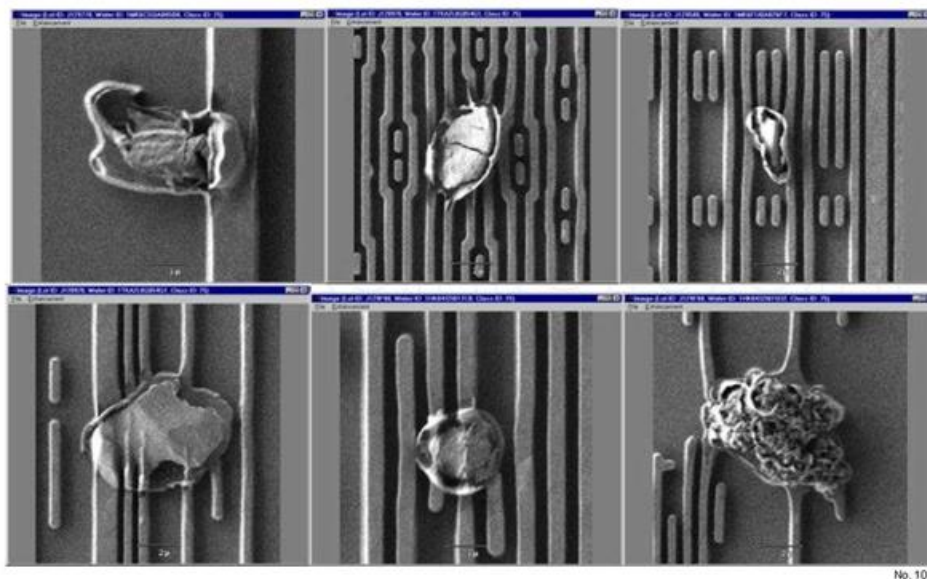


Figura 2.2.67. Diferențele de concentrație într-un fir de bronz (K) (sursa: Leica Microsystems)

Soluție: Specialistul ar trebui să revizuiască compatibilitatea agentului de decapare cu metalul și microstructura și să se asigure că proba este curățată corespunzător înainte de gravare pentru a evita contaminării care pot provoca pete.

Contaminarea

Problemă: Contaminanții de pe suprafața probei pot interfera cu procesul de gravare.



No. 10-2

Figura 2.2.68. Defecte ucigașe generate în procesele de gravare a metalului aluminiu.

(sursa: Steel Data)

Soluție: Specialistul trebuie să curețe bine și să degreseze proba înainte de gravare pentru a îndepărta contaminanții. Utilizați echipamente curate de laborator, cum ar fi recipiente și perii, pentru a minimiza riscul de contaminare.

Măsuri de siguranță

Problemă: Măsurile de siguranță inadecvate pot duce la expunerea personală la agenți de gravare periculoși.



Figure 2.2.69. Personal Protective Equipment (PPE) (source: MicroLit)

Soluție: Tehnicianul trebuie să respecte protocoalele de siguranță adecvate și să folosească echipament personal de protecție (EIP), inclusiv ochelari de protecție, mănuși și o halat de laborator și să lucreze într-o zonă bine ventilată sau sub o hotă pentru a reduce expunerea la fum.

Rezultate inconsecvente

Problemă: Atunci când obținerea de rezultate consistente pentru diferite eșantioane poate fi o provocare.

Soluție: Tehnicianul trebuie să mențină un control precis al concentrației de gravare, al timpului de gravare și al tehnicilor de pregătire a probei pentru repetabilitate și să documenteze și să standardizeze procesul de gravare pentru a obține rezultate consistente.

Păstrarea inadecvată a rezultatelor

Problemă: Documentația slabă face dificilă analiza și replicarea rezultatelor.â

Soluție: Tehnicianul trebuie să mențină înregistrări detaliate ale procesului de gravare, inclusiv compoziția gravatorului, concentrația, timpul de gravare și caracteristicile probei, pentru a facilita analiza și depanarea viitoare.

2.2.10. Manipularea și eliminarea reactivilor de la gravarea colorată

Manipularea și eliminarea reactivilor utilizați în gravarea colorată sunt aspecte esențiale ale practicilor de laborator sigure și responsabile din punct de vedere al mediului. Reactivii de gravare colorați conțin adesea substanțe chimice care pot fi periculoase, așa că este esențial să urmați procedurile adecvate atât pentru manipularea, cât și pentru eliminarea acestor materiale. Manipularea și eliminarea corespunzătoare a reactivilor utilizați în gravarea colorată sunt esențiale pentru menținerea unui laborator sigur și responsabil cu mediul înconjurător. Întotdeauna acordați prioritate siguranței și conformității cu reglementările locale atunci când lucrați cu materiale periculoase.

Manipularea reactivilor pentru gravarea colorată

Echipment de protecție personală (PPE): Specialistul trebuie să poarte echipament individual de protecție adecvat, inclusiv ochelari de protecție, mănuși, o haină de laborator sau îmbrăcăminte de protecție și, eventual, o protecție facială pentru a se proteja împotriva stropilor sau a contactului cu reactivii.

Ventilație: Specialistul trebuie să efectueze manipularea reactivilor într-o zonă bine ventilată, cum ar fi o hotă sau un spațiu cu o bună ventilație a încăperii, pentru a minimiza expunerea la fum sau vapori.

Etichetare: Specialistul trebuie să asigure recipiente etichetate clare care dețin reactivi, cu numele, compozițiile, pericolele și orice măsuri de precauție necesare la manipulare. Utilizarea etichetelor specifice și păstrarea înregistrărilor este obligatorie.

Folosiți recipiente adecvate: Specialistul trebuie să depoziteze reactivii în recipiente rezistente la substanțe chimice concepute în acest scop; recipientele din sticlă sau plastic sunt alegeri comune.

Reduceți contactul cu pielea: specialistul trebuie să evite contactul direct cu pielea cu reactivul; dacă apare contactul, clătiți imediat zona afectată cu multă apă.

Fără mâncare sau băutură: specialistul trebuie să se asigure că nu mănâncă, bea sau fumează în timp ce manipulează reactivi pentru a preveni ingestia accidentală.

Manipulați cu grijă: specialistul trebuie să fie precaut atunci când transferă sau amestecă reactivi pentru a evita stropirea sau accidentele.

Verificați compatibilitatea: Specialistul trebuie să se asigure că materialele utilizate pentru manipularea reactivilor (recipiente, agitatoare etc.) sunt compatibile cu reactivul specific și nu vor reacționa cu acesta.

Educație și instruire: Tot personalul care lucrează cu reactivi utilizați în gravarea colorată trebuie să fie educat cu privire la riscuri și procedurile de siguranță; formarea continuă și conștientizarea sunt esențiale.

Înlăturarea reactivilor din gravarea colorată

Conformitate cu reglementările: laboratorul trebuie să adere la reglementările locale, statale și federale care guvernează eliminarea deșeurilor periculoase, aceste reglementări pot varia în funcție de locație. Specialistul trebuie să păstreze diferiți reactivi separați și să nu-i amestece în timpul eliminării. În unele cazuri, specialistul poate avea nevoie să neutralizeze reactivul înainte de eliminare, el/ea ar trebui să respecte regulile de compatibilitate chimică pentru neutralizarea în siguranță.

Consultați experții: Dacă specialistul nu este sigur cu privire la metodele adecvate de eliminare, consultați un chimist calificat, un expert în eliminarea deșeurilor sau departamentul de sănătate și siguranță a mediului al organizației dumneavoastră.

Etichetați containerele de deșeurii: Specialistul trebuie să eticheteze în mod clar containerele de deșeurii cu conținutul lor și orice pericole pentru a asigura o manipulare în siguranță în timpul eliminării, el/ea trebuie să se asigure că containerele de deșeurii sunt etanș etanș pentru a preveni scurgerile sau scurgerile.

Servicii de eliminare a deșeurilor: Laboratorul trebuie să organizeze colectarea și eliminarea deșeurilor periculoase prin servicii sau facilități de eliminare a deșeurilor licențiate și autorizate, nu ar trebui să încerce să elimine deșeurile periculoase pe cont propriu. Laboratorul trebuie să păstreze înregistrări ale procesului de eliminare, inclusiv datele, metodele de eliminare și orice fișă cu date de securitate (SDS) relevante pentru referință. Laboratoarele trebuie să fie pregătite pentru situații de urgență și să dispună de truse de răspuns la scurgeri, dușuri de siguranță și stații de spălare a ochilor disponibile în zona în care sunt manipulați reactivii de la gravarea colorată.

2.2.11. Diagnosticare și sfaturi în probe metalografice gravate colorate

Mai mulți factori pot influența dezvoltarea culorii în gravarea colorată. Acestea includ compoziția și concentrația agentului de gravare, temperatura, timpul de gravare și pregătirea suprafeței probei. În plus, prezența elementelor de aliere, a impurităților sau a orientărilor cristalografice specifice poate afecta intensitatea culorii și contrastul.

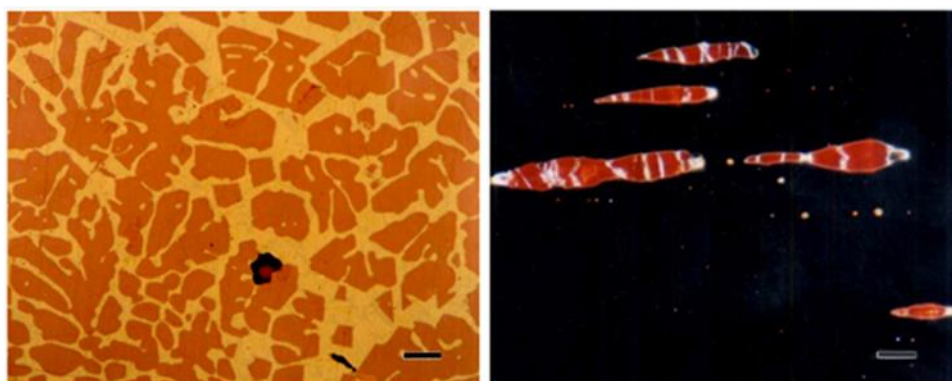


Figura 2.2.70. (stânga) și 2.2.71 (dreapta) care arată culoarea naturală roșiatică-violet a intermetalicului AuAl₂ (stânga) în câmp luminos și culoarea roșu rubiniu caracteristică a oxidului

cupros la iluminare în câmp întunecat (exemplar de cupru electrolitic). Barele de mărire sunt de 50 și, respectiv, 10 μm (sursa: Vac Aero Colored Metallography)

Înțelegerea acestor factori este crucială pentru obținerea unei dezvoltări optime a culorii și a contrastului în gravarea colorată. Controlul și optimizarea atentă a parametrilor de gravare sunt necesare pentru a obține rezultate fiabile și reproductibile.

2.2.12. Exemple reale de gravare colorată

Gravarea colorată este o tehnică utilizată în domeniul metalografiei pentru a dezvălui și evidenția caracteristici microstructurale specifice ale materialelor metalice. În industria auto și aerospațială, gravarea colorată este adesea folosită pentru a inspecta sudurile din materiale precum aluminiul și oțelul. Această tehnică ajută la dezvăluirea integrității sudurii, prezența defectelor și calitatea cordonului de sudură și a zonei afectate de căldură. Gravarea colorată este un instrument important în ingineria criminalistică și analiza defecțiunilor. Ajută la identificarea cauzelor defecțiunilor componentelor, cum ar fi prezența fisurilor, golurilor sau incluziunilor într-un material. În sectoarele de construcții și inginerie civilă, gravarea colorată este folosită pentru inspectarea componentelor structurale din oțel. Ajută la evaluarea calității oțelului și a prezenței oricăror incluziuni, segregări sau defecte care pot compromite integritatea structurală. Gravarea colorată este folosită pentru a examina componentele motorului, cum ar fi pistoanele și arborii cotit. Ajută la evaluarea calității materialului și la detectarea oricăror defecte sau nereguli care pot afecta performanța.

Producătorii de avioane și unitățile de întreținere folosesc gravarea colorată pentru a inspecta componentele critice, cum ar fi palele turbinei și trenul de aterizare. Această tehnică ajută la identificarea problemelor micro-structurale care ar putea duce la defectarea componentelor. În fabricarea de implanturi și dispozitive medicale, gravarea colorată este utilizată pentru a evalua calitatea și integritatea materialelor precum oțel inoxidabil, titan și aliaje de cobalt-crom. Ajută la asigurarea faptului că dispozitivele medicale îndeplinesc standarde stricte de siguranță și performanță.

În industria semiconductoarelor, gravarea colorată este utilizată pentru a inspecta calitatea plăcilor de siliciu. Tehnica poate dezvălui defecte cristalografice, granițe și alte caracteristici care pot afecta performanța dispozitivelor semiconductoare. Gravarea colorată este utilizată în testarea nedistructivă a materialelor utilizate în sectorul petrolului și gazelor. Ajută la identificarea defectelor sau punctelor slabe ale componentelor precum conductele, recipientele sub presiune și sudurile, asigurând fiabilitatea și siguranța acestora.

Cercetătorii și inginerii folosesc gravarea colorată pentru a studia microstructura diferitelor materiale, inclusiv metale și aliaje. Este folosit pentru a identifica limitele, fazele și incluziunile de cereale, care sunt esențiale pentru înțelegerea proprietăților și comportamentului materialului. În metalurgia și știința materialelor, folosiți gravarea colorată pentru a investiga microstructura și compoziția de fază a diferitelor metale și aliaje. Aceste informații sunt cruciale pentru proiectarea și îmbunătățirea materialelor pentru aplicații specifice.

Anexe

Compoziții Etch

Klemm's I	50 mL stock solution, 1 g K ₂ S ₂ O ₅ (stock solution is water saturated with Na ₂ S ₂ O ₃)
Klemm's III	5 ml soluție stoc, 45 ml apă, 20 g K ₂ S ₂ O ₅ (soluție stoc ca pentru Klemm's I)
Beraha's 10/3 reagent	10 g Na ₂ S ₂ O ₃ , 3 g K ₂ S ₂ O ₅ și 100 ml apă
Beraha's BI	100 ml soluție stoc (1000 ml apă, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF) plus 0,1 – 0,2 g K ₂ S ₂ O ₅ pentru oțel inoxidabil martensitic
Beraha's BI	100 ml soluție stoc (1000 ml apă, 200 ml HCl, 24 g NH ₄ FHF) plus 0,3 – 0,6 g K ₂ S ₂ O ₅ pentru oțeluri inoxidabile austenitice și feritice.
Beraha's sulfamic acid reagent No. III	100 mL apă, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 2 g NH ₂ SO ₃ H (au fost publicate alte două compoziții similare) pentru oțeluri carbon și aliate.
Beraha's sulfamic acid reagent No. IV	100 ml apă, 3 g K ₂ S ₂ O ₅ , 1 g NH ₂ SO ₃ H, 0,5 – 1 g NH ₄ FHF pentru oțeluri de scule cu conținut ridicat de Cr și oțeluri inoxidabile martensitice.
Beraha's CdS and PbS reagents	Soluție stoc CdS: 1000 mL apă, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ • 5H ₂ O, 20-25 g clorură de cadmiu (sau acetat de cadmiu), 30 g acid citric; Soluție stoc de PbS: 1000 ml apă, 240 g Na ₂ S ₂ O ₃ • 5H ₂ O, 30 g acid citric, 24 g acetat de plumb
Beraha's selenic acid reagent for cast iron	100 ml etanol, 2 ml HCl, 1 ml acid selenic

2.2.13. Înțelegeți și descrieți diferențele în ceea ce privește efectele lor asupra finisajului suprafeței și microstructurii probei

Analiza microstructurii și examinarea probelor preparate prin tehnica de gravare colorată

Analiza și examinarea microstructurii sunt pași esențiali în studiul materialelor pentru a înțelege structura lor internă, limitele de granule, fazele, defecte și alte caracteristici microstructurale.

Fiecare dintre tehnicile de tratare a suprafeței - lustruire electrolică, gravare colorată - oferă avantaje și considerații unice pentru analiza microstructurii:

Analiza microstructurii după lustruirea electrolică:	Analiza microstructurii după gravarea colorată:
<p>Lustruirea electrolică produce suprafețe netede și ca o oglindă pe mostrele de metal fără a introduce deformare mecanică.</p> <p>Microstructurile descoperite după lustruirea electrolică sunt mai puțin susceptibile de a fi modificate de artefacte de suprafață în comparație cu alte tehnici.</p> <p>După lustruirea electrolică, proba de metal poate fi observată direct la microscop optic sau electronic pentru analiza microstructurală.</p> <p>Limitele cerealelor, limitele de fază și incluziunile pot fi identificate și analizate clar prin artefacte de suprafață în comparație cu alte tehnici.</p> <p>După lustruirea electrolică, proba de metal poate fi observată direct la microscop optic sau electronic pentru analiza microstructurală.</p>	<p>Gravarea colorată folosește agenți de gravare specifici pentru a releva și a evidenția diferite caracteristici microstructurale pe suprafețele metalice, oferind un contrast în culori sau nuanțe.</p> <p>Gravarea colorată este deosebit de utilă pentru distingerea diferitelor faze, granițe și compuși intermetalici din microstructură.</p> <p>Contrastul oferit de gravarea colorată face mai ușoară identificarea și caracterizarea constituenților microstructurali.</p> <p>Trebuie avut grijă să folosiți morcile adecvate și proceduri standardizate pentru a asigura rezultate fiabile și precise.</p>



Limitele cerealelor, limitele de fază și incluziunile pot fi identificate și analizate clar.	
--	--

În general, cele două tehnici - lustruire electrolică, gravare colorată - joacă un rol important în analiza microstructurii. Alegerea tehnicii depinde de cerințele specifice ale analizei, de materialul studiat și de nivelul dorit de finisare și precizie a suprafeței. În unele cazuri, mai multe tehnici pot fi combinate pentru a obține o înțelegere cuprinzătoare a microstructurii materialului. În plus, trebuie avută precauție pentru a evita introducerea de artefacte care ar putea induce în eroare analiza microstructurală. Tehnicile avansate de microscopie, cum ar fi microscopia electronică cu scanare (SEM) și microscopia electronică cu transmisie (TEM), sunt adesea folosite pentru a realiza examinarea microstructurii de înaltă rezoluție după tratamentul de suprafață.

Referințe

1. <https://www.besttechnologyinc.com/electropolishing-equipment/how-does-electropolishing-work/>
2. <https://www.kemet-international.com/ca/products/metallography>
3. <http://www.ral.neu.edu.cn/RAL/2012/1001/c4716a91534/pagem.htm>
4. <http://www.ral.neu.edu.cn/RAL/2012/1001/c4716a91534/pagem.htm>
5. <https://www.steeldata.info/ms/demo/semi/help/defects/10.html>
6. <https://www.microlit.com/a-beginners-guide-to-understanding-liquid-handling/>
7. <https://www.plusivo.com/>
8. <https://www.pbo.co.uk/expert-advice/how-to-polish-stainless-steel-in-the-workshop-at-home-64115>
9. <https://cr4.globalspec.com/thread/49091/Streaks-on-Machined-SS304-after-Electropolishing>
10. <https://en.wikipedia.org/wiki/Etching>
11. <https://www.quora.com/What-are-the-different-types-of-electrolytes>
12. <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html>



13. [<https://www.kemel.com>];
14. <https://www.valencesurfacetech.com/the-news/electropolishing-for-aerospace>;
15. <https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw>;
16. <https://www.buehler.com/products/grinding-and-polishing/>;
17. <https://www.youtube.com/watch?v=NI06GygDpSA>;
18. <https://www.struers.com/Knowledge/Materials/Stainless-Steel#etching>;
19. https://www.youtube.com/watch?v=LihfJ8uyh_w;
20. <https://www.youtube.com/watch?v=9VpOldhTBXA>;
21. <https://vacaero.com/information-resources/metallography-with-george-vander-voort/991-color-metallography.html>;
22. G. F. Vander Voort, Metallography: Principles and Practice, McGraw-Hill Book Co., NY, 1984 and ASM International, Materials Park, Ohio, 1999;
23. <https://www.youtube.com/watch?v=Qfgf35wPWgo&t=11s>;
24. https://www.keyence.eu/landing/lpc/1807-vh-metallurgical-microscope.jsp?aw=KIB01kw0_11629853&gclid=CjwKCAjw2K6lBhBXEiwA5RjtCdtbWTwPZtL6jzu6Ayh0c9LwKbVysrfp7MCHirLbaR1t_ntJveeSBxoCCWkQAvD_BwE;
25. Yang, G., Wang, B., Tawfiq, K., Wei, H., Zhou, S., & Chen, G. (2016). Electropolishing of surfaces: theory and applications. Surface Engineering, 33(2), 149–166;
26. [Acquesta, A.; Monetta, T. Green Approach for Electropolishing Surface Treatments of Additive Manufactured Parts: A Comprehensive Review. Metals 2023, 13, 874. <https://doi.org/10.3390/met13050874>;
27. Alrbaey, K.; Wimpenny, D.I.; Al-Barzinjy, A.A.; Moroz, A. Electropolishing of Re-melted SLM Stain-less Steel 316L Parts Using Deep Eutectic Solvents: 3 × 3 Full Factorial Design. J. Mater. Eng. Per-form. 2016, 25, 2836–2846;
28. Hernández-García, D. Saldaña Garcés, R. Vázquez, Friction Stir Welding of Dissimilar AA7075-T6 to AZ31B-H24 Alloys, MRS Advances, (2017), 2. 1-9. 10.1557/adv.2017.609.

2.3. Analiza imaginilor ca instrument în examinarea metalografică

Metalurgiștii s-au bazat, în general, pe descrieri calitative ale microstructurilor, pentru unele probe precizia unei astfel de evaluări, deși limitată, este adecvată scopului propus, dar în multe cazuri este foarte important să se obțină informații cantitative; astăzi, softurile moderne de analiză a imaginilor conectate la microscopul optic permit formarea unui rezultat cantitativ, cum ar fi măsurători liniare sau de suprafață sau procente de faze sau porozitate.

În metalografie, analiza imaginilor se referă cel mai adesea la evaluarea cantitativă digitală a unei imagini de microstructură. Sistemele moderne de analiză a imaginilor au devenit un instrument important pentru măsurătorile cantitative ale aspectelor microstructurale; măsurătorile cantitative sunt, de obicei, lungimea, lățimea și suprafața, acestea fiind utilizate pentru evaluarea caracteristicilor metalografice, cum ar fi dimensiunea grăuntelui, incluziunile, straturile, fazele sau alți constituenți.

În trecut, măsurătorile trebuiau să fie efectuate pe proiectoare de imagini, cu magnificare egală cu cea a obiectivelor, sau pe fotomicrografe, pentru care conceptul de magnificare reală era important. Astăzi, programele moderne permit asocierea imaginii afișate la obiectiv și posibilitatea de a efectua măsurători directe pe ecranul monitorului. Acest lucru permite efectuarea imediată a analizelor cantitative, evitându-se utilizarea parametrilor de corecție.

În general, trebuie respectate următoarele precauții pentru a obține rezultate fiabile și repetabile.

2.3.1. Prelevarea și pregătirea probelor

Eșantioanele trebuie să fie selectate și pregătite în mod corespunzător. Eșantionarea aleatorie este frecvent utilizată pentru a obține date semnificative din punct de vedere statistic, deoarece aceasta implică faptul că toate regiunile și orientările unui element metalic au o șansă egală de a fi tăiate și testate. Cu toate acestea, de multe ori acest lucru nu este posibil, iar eșantionarea trebuie să fie efectuată pe baza evaluării în funcție de componenta investigată (de exemplu, îmbinarea sudată).

Este dificil să se stabilească reguli rigide privind numărul și localizarea eșantioanelor de testare.

După ce eșantioanele sunt tăiate și identificate, acestea trebuie pregătite pentru examinare. Pregătirea eșantioanelor (lustruire și gravură) trebuie efectuată cu atenție pentru a evita artefacte precum distorsiuni, gravuri, margini rotunjite etc.

Se recomandă dispozitive automate de șlefuire și polizare pentru a obține planeitate și repetabilitate a rezultatelor.

2.3.2. Selecția câmpurilor

Pentru multe tipuri de măsurători, tehnicianul/operatorul trebuie să decidă câte câmpuri vor fi măsurate, cum să spațieze câmpurile și care este cea mai bună mărime, pentru alte tipuri de

măsurători, acest lucru este raportat în metodele standard sau în specificațiile produsului (de exemplu, ASTM E562).

În general, pe măsură ce mărirea crește, suprafața câmpului scade; dacă mărirea crește de la 100X la 200X, trebuie măsurate de patru ori mai multe câmpuri pentru a acoperi aceeași suprafață.

Zona de măsurare necesară pentru a obține o anumită precizie a măsurătorilor depinde de omogenitatea structurii. Numărul de câmpuri observate influențează acuratețea măsurătorilor; în general, pentru a reduce acuratețea observată la jumătate din valoarea obținută după un număr x de măsurători, trebuie efectuate în plus de patru ori x măsurători.

2.3.3. Măsurători 2D

Principalele rezultate cantitative care pot fi solicitate în analiza metalografică sunt măsurătorile liniare sau de suprafață. De obicei, toate programele de achiziție a imaginilor permit efectuarea de măsurători directe în timp real pe monitor, asociind mărirea corectă în funcție de obiectul utilizat.

În mod obișnuit, sunt solicitate măsurători liniare, cum ar fi măsurători de lungime, grosime sau de suprafață prin linii închise sau prin elaborarea imaginii (prin contrast).

Aceste măsurători trebuie considerate ca fiind supuse unei erori statistice care poate fi calculată pe baza procedurilor de verificare periodică cu micrometre certificate și a datelor furnizate de producătorul microscopului.

Principalele cazuri în care poate fi necesar sunt enumerate mai jos.

- Măsurători caracteristice ale îmbinărilor sudate (gât de sudură a , laturi de sudură Z , lungimea imperfecțiunilor)
- Adâncimea decarburăției.
- Adâncimea tratamentelor termice de suprafață (călire superficială, carburare, nitrurare, cianurare etc.).
- Grosimea acoperirii (acoperire metalică, acoperire organică, acoperire ceramică, pulverizare termică).
- Adâncimea de coroziune (după exploatare sau după testul de coroziune).

Ar trebui efectuate mai multe măsurători la intervale de timp distanțate pentru a obține o estimare statistică a adâncimii reale.

2.3.3.1. Decarburare

De obicei, adâncimea de decarburare se măsoară cu ajutorul microscopului optic pentru a crește precizia măsurătorii, de asemenea, se poate efectua și o analiză a microdurității sau a carbonului.

Adesea, stratul de decarburare nu are o grosime uniformă, de exemplu, colțurile secțiunilor rectangulare prezintă o adâncime de decarburare mai mare decât fețele, decât se selectează mai multe probe din diferite locații de testare.

Înainte de lustruire, proba trebuie montată cu bachelită sau altă rășină dură pentru a evita rotunjirea marginilor.

Microstructura este dezvăluită prin utilizarea de "Nital" sau "Picral" sau alți reactivi, după caz.

Adâncimea de decarburare se măsoară cu ajutorul software-ului de achiziție a microscopului, după ce s-a verificat în mod corespunzător dacă mărirea de pe ecran este corectă.

Mărirea este aleasă în funcție de structura observată, iar tehnicianul/operatorul trebuie să efectueze cel puțin cinci măsurători, în locații aleatorii de-a lungul suprafeței fiecărui eșantion, apoi poate calcula media și abaterea standard.

În cazul în care este prezent un strat de ferită liberă, măsurarea grosimii este mai ușoară, deoarece există un contrast bun între această zonă și stratul adiacent parțial decarburat. Într-o probă de oțel hipoeutectoid cu ferită hipoeutectoidă și perlita, operatorul caută adâncimea la care cantitatea de perlita și ferită pare să devină constantă.

În timp ce evaluarea este mai dificilă într-o probă al cărei strat parțial decarburat este format din martensită și/sau bainită, unde nu se observă nicio diferență clară.

2.3.3.2. Adâncimea tratamentelor termice de suprafață

Tratamentele de carburare, nitrurare, cianurare și călire prin flacăra sau inducție pot fi măsurate cu aceeași metodă ca și decarburarea. Precizia metodei microscopice depinde de microstructurile suprafeței și ale miezului. De exemplu, carburarea este mai ușor de evaluat în oțelul neîntărite, în timp ce nitrurarea poate fi dificil de estimat.

Adesea, este preferabil să se determine adâncimea prin măsurători de microdurate sau analize chimice.

2.3.3.3. Grosimea stratului de acoperire

Există mai multe tipuri de acoperiri, putem avea acoperiri metalice, cum ar fi zincarea, cromarea, nichelarea, acoperiri organice, acoperiri ceramice și obținute prin diferite procedee, cum ar fi pulverizarea termică.

În general, eficacitatea acoperirii este determinată de grosimea acesteia, iar măsurarea trebuie efectuată în mai multe câmpuri, acordând o atenție deosebită marginilor și colțurilor.

2.3.3.4. Adâncimea coroziunii

Comportamentul la coroziune al unui aliaj metalic este adesea estimat în penetrație pe unitate de timp (mm/an). Din acest motiv, măsurarea adâncimii de coroziune este deseori necesară, deasupra încercărilor de serviciu sau de coroziune care au ca scop prezicerea comportamentului unui anumit aliaj.



Dacă dorim să estimăm coroziunea generală, este necesar să cunoaștem grosimea de pornire. Măsurarea unei coroziuni neuniforme sau a unei coroziuni localizate este mai ușoară decât a unei coroziuni generale.

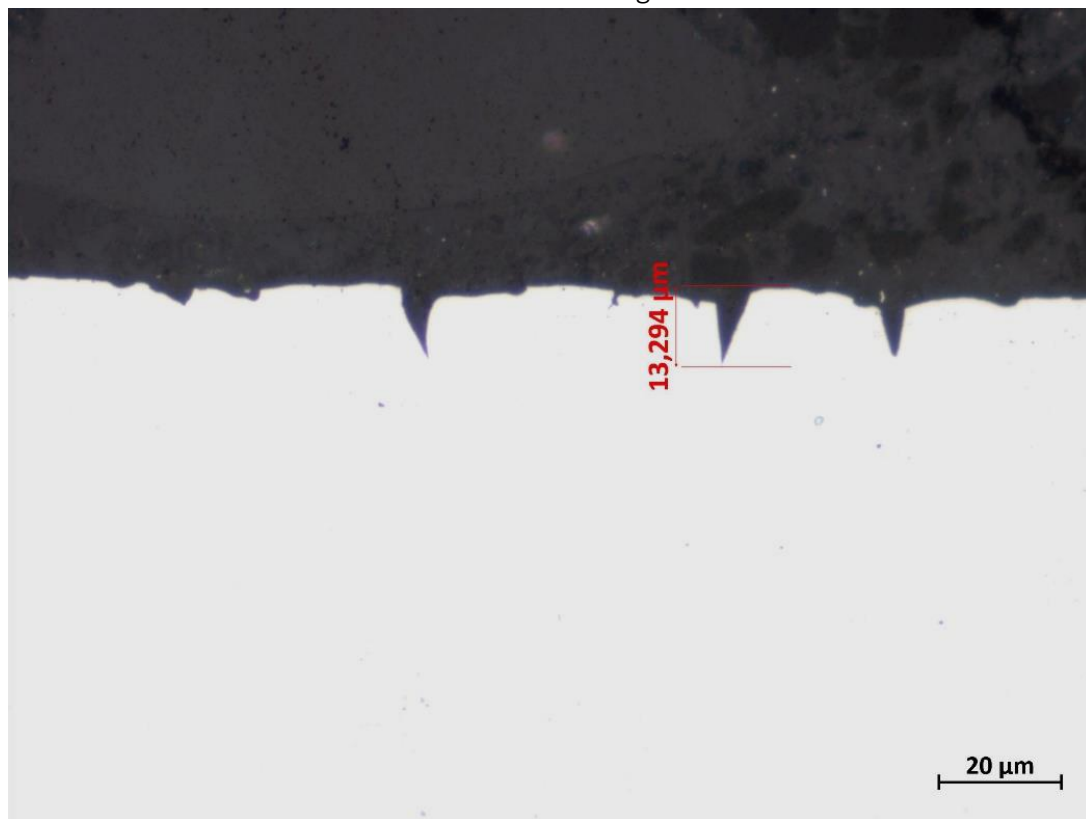


Fig. 2.3.1- măsurarea adâncimii de coroziune localizată pe o epruvetă după încercări de coroziune în laborator. Sursa: Laboratorul IIS

2.3.4. Determinarea fracției de volum

Determinarea fracției volumice a unei faze, a unui constituent și a porozității într-o microstructură este cea mai importantă și cea mai frecventă utilizare a analizei imaginii.

În mod obișnuit, această estimare poate fi realizată prin două metode principale:

- Determinarea fracției de volum prin metoda de numărare a punctelor (ASTM E562).
- Determinarea fracției de volum prin analiza imaginii (ASTM E1245).

Determinarea este o estimare a fracțiunii de suprafață și este supusă erorilor.

2.3.4.1. Numărarea punctiformă

Metoda de numărare a punctelor pentru determinarea fracției de volum este descrisă în standardul ASTM E562. Ea a fost propusă de trei oameni de știință diferiți în mod independent (Thomson în 1933, Glasgolev în 1933 și Chalkley în 1943).



O grilă de puncte bidimensională (sau unidimensională) este plasată deasupra imaginii, iar apoi se numără câte puncte din grilă se află în faza care urmează să fie determinată. În prezent, grila este aplicată cu ajutorul programelor de achiziție a imaginii.

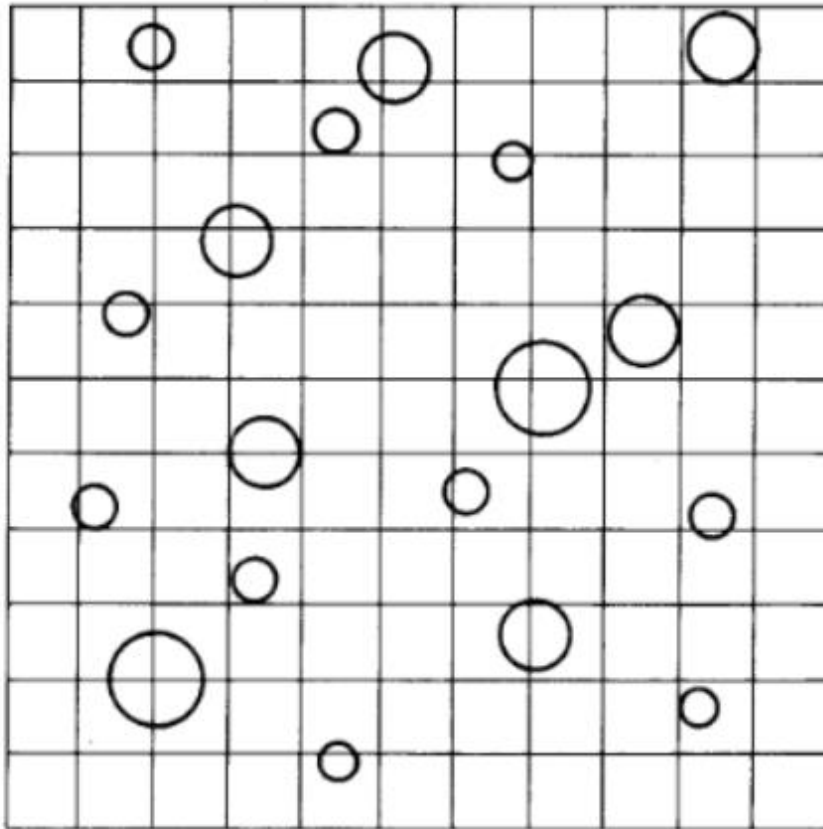
Mărirea ar trebui să fie suficient de mare pentru ca locația punctelor de testare în raport cu elementele să poată fi clar percepută; este important să se aleagă un compromis între rezoluție și dimensiunea câmpului.

Grila de puncte trebuie aplicată pe un câmp selectat la întâmplare; punctele situate în faza de interes P_a (de exemplu, ferită delta) sunt numărate, iar punctele situate în particule sau la limita de fază sunt numărate la jumătate. Frația de puncte se calculează după cum se arată mai jos.

$$P_P = \frac{\Sigma P_a}{P_T} = \frac{\Sigma P_a}{nP_0}$$

Unde n este numărul de câmpuri, P_0 este numărul de puncte de rețea.

De obicei, se utilizează grile de puncte de 16, 25, 49, 64 sau 100 de puncte; pentru a măsura o fază egală cu aproximativ 50%, se poate utiliza o grilă de 16 puncte. Dacă fracția de fază scade, trebuie utilizată o grilă de puncte mai mare (a se vedea fila 5.1).



$$\begin{aligned}A_T &= 12,100 \text{ mm}^2 \\L_T &= 2200 \text{ mm} \\P_T &= 100\end{aligned}$$

Areal analysis

$$V_{Va} = \frac{\sum A_a}{A_T} = \frac{\text{areas of circles}}{\text{frame area}} = \frac{884,75}{12,100} = 0.073$$

Lineal analysis

$$L_{La} = \frac{\sum L_a}{L_T} = \frac{\sum \text{intercept lengths}}{\text{total line length}} = \frac{152,3}{2200} = 0.069$$

Point count

$$P_{Pa} = \frac{\sum P_a}{P_T} = \frac{\sum \text{points in } \alpha}{\text{total points}} = \frac{5 + 2 \left(\frac{1}{2}\right)^*}{100} = 0.06$$

*Tangents to particles counted as $\frac{1}{2}$

Fig. 2.3.2- exemplu care ilustrează trei metode de estimare a VV folosind o mi-crostructură idealizată de sferă intersectată de un plan de secționare. Sursa: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Metode standard de testare pentru determinarea fracției de volum prin numărarea manuală sistematică a punctelor.

<i>Estimarea fracțiunii de suprafață vizuală Exprimată ca procent</i>	<i>Dimensiunea grilei (număru de puncte, P_T)</i>
2 to 5 %	100
5 to 10 %	49
10 to 20 %	25
>20 %	16

Tab. 2.3.1 - orientări pentru selectarea dimensiunii grilei. Sursa: [2.3.3] ASTM E562:2011
 - Metode standard de testare pentru determinarea fracției de volum prin numărarea manuală
 sistematică a punctelor.

Această metodă poate fi utilizată pentru a determina fracția unei faze metalice, a unui
 precipitat, a incluziunilor nemetalice sau a porozității.

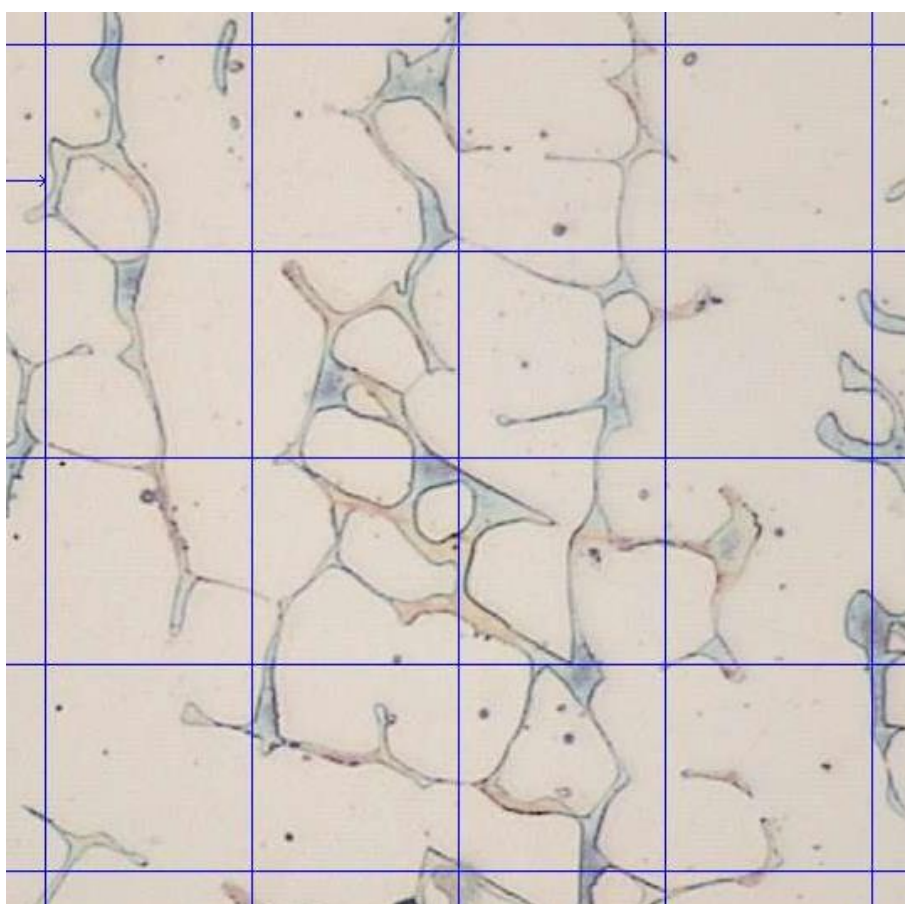


Fig. 2.3.3- exemplu de determinare a fracției volumice a feritei delta printr-o grilă de 25 de puncte.
 Sursa: Laboratorul IIS.

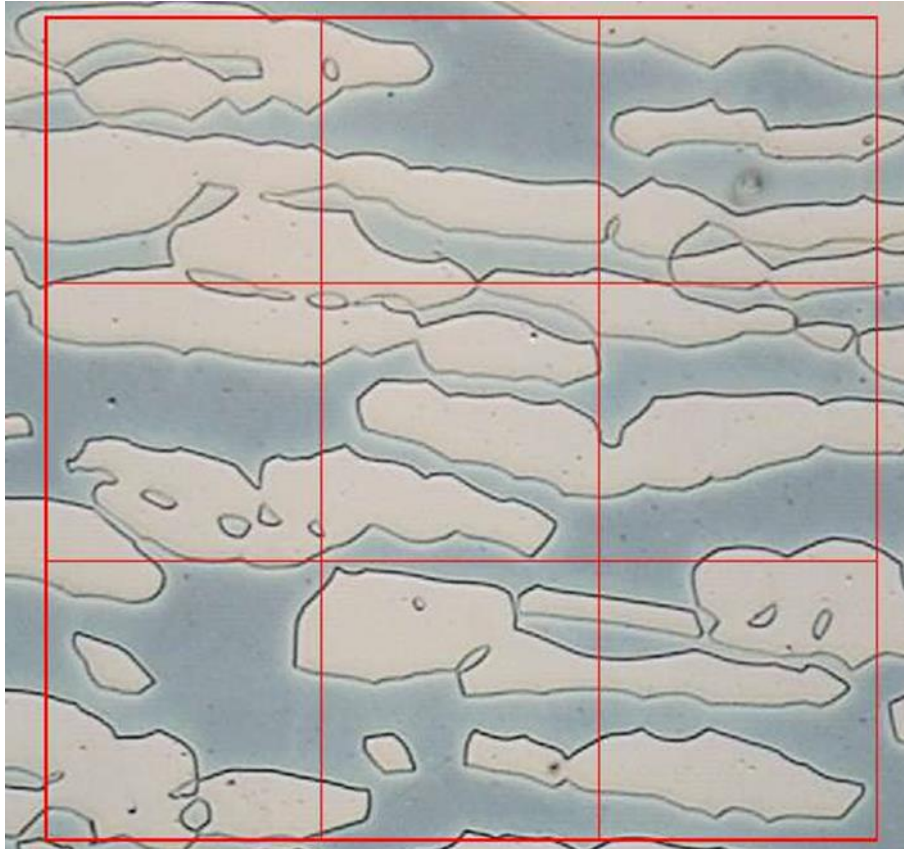


Fig. 2.3.4- exemplu de determinare a fracției volumice a feritei delta printr-o grilă de 16 puncte. Sursa: Laboratorul IIS.

2.3.4.2. Determinarea fracției de volum prin analiza imaginii

Ca alternativă la metoda de numărare punctiformă, se poate utiliza un analizor automat de imagini; această metodă este descrisă în ASTM E1245.

Imaginea este detectată cu ajutorul unui tub de scanare de tip televizor și este afișată pe un monitor video de înaltă rezoluție. Incluziunile, fazele și porozitatea sunt detectate și evidențiate pe baza diferențelor de intensitate la nivel de gri dintre ele și matricea neagră.

Măsurătorile se fac pe baza naturii elementelor de puncte de imagine discriminate în imagine. Aceste măsurători se efectuează pe fiecare câmp de vizualizare selectat. Evaluarea statistică sau variabilitatea de la o caracteristică la alta a măsurătorilor.

Această procedură nu este adecvată pentru evaluarea incluziunilor exogene din oțeluri și alte metale. Din cauza caracterului sporadic și imprezvizibil al distribuției incluziunilor exogene, trebuie utilizate alte metode care implică o inspecție completă, de exemplu, cu ultrasunete, pentru a localiza prezența acestora.

În general, orientarea epruvetei de încercare trebuie să fie paralelă cu axa de prelucrare la cald și, cel mai frecvent, trebuie să fie luată la nivelul sfertului de grosime. Pot fi prelevate și alte locații de încercare, de exemplu, locația subterană și centrală, după cum se dorește sau este necesar.

Suprafața care urmează să fie lustruită trebuie să fie suficient de mare pentru a permite măsurarea a cel puțin 100 de câmpuri la mărirea necesară. Se preferă o suprafață minimă de 160 mm².

Pregătirea epruvetelor pentru metalografie trebuie să fie controlată cu atenție pentru a produce o suprafață de calitate acceptabilă pentru analiza imaginii. Procedura de lustruire nu trebuie să modifice aspectul real al componentelor în planul de lustruire prin producerea unui relief excesiv, a unor gropițe, fisuri sau smulgere. Micile zgârieturi fine, cum ar fi cele produse de un abraziv diamantat de 1 μm, nu interferează, de obicei, cu detectarea incluziunilor, dar trebuie evitate zgârieturile mai mari. Este necesară o curățare adecvată a specimenului. Se recomandă utilizarea unui dispozitiv automat de șlefuire și lustruire.

Sursa de lumină a microscopului trebuie verificată pentru o aliniere corectă, iar intensitatea iluminării trebuie ajustată la nivelul cerut de monitor.

Ajustarea sistemului de mărire pentru a asigura o rezoluție adecvată a elementelor constitutive/fazelor cu o dimensiune de câmp cât mai mare posibil. Alegerea măririi optime este un compromis între rezoluție și variabilitatea măsurătorilor de la un câmp la altul. Obiectivele cu mărire mai mare au un indice de deschidere numerică mai mare și oferă o rezoluție îmbunătățită. Cu toate acestea, pe măsură ce mărire crește, crește variabilitatea măsurătorilor de la un câmp la altul, ceea ce mărește abaterea standard a măsurătorii. De asemenea, pe măsură ce mărire crește, zona de câmp scade. De exemplu, dacă mărire este dublă, trebuie măsurate de patru ori mai multe câmpuri pentru a acoperi aceeași zonă de testare.

Evitați utilizarea obiectivelor cu mărire mai mică, care nu permit detectarea constituenților mai mici.

Setările pragului de nivel de gri sunt selectate pentru a permite detectarea independentă a unei faze secundare discrete specifice, utilizând o "metodă de pâlpare" la comutarea înainte și înapoi între imaginea de incluziune și imaginea de prag. Setarea pragului poate necesita un mic compromis între detectarea celor mai mici constituenți și supradetectarea celor mai mari.

Setările de prag alese trebuie încercate pe constituenți din mai multe domenii înainte de a începe analiza. De exemplu, intervalul de prag pentru oxizi este aproape de capătul negru al scalei de reflectanță, în timp ce intervalul pentru sulfuri este ceva mai mare. O abordare alternativă pentru stabilirea valorilor de prag constă în elaborarea unei histograme de reflectanță la nivel de gri a incluziunilor sau a tipurilor de constituenți prezenți, precum și a matricei (de obicei, în stare neșlefuită). Histograma este utilizată pentru a identifica începutul (griul cel mai închis) și sfârșitul (griul cel mai deschis) intervalului pentru fiecare tip de incluziune, la nivelul de gri de intersecție pentru două incluziuni sau tipuri de constituenți cu intervale de nivel de gri care se suprapun. Verificați aceste setări utilizând metoda flicker pentru mai multe câmpuri selectate în mod aleatoriu.

Numărul de câmpuri măsurate ar trebui să se bazeze pe precizia relativă a măsurătorilor, astfel cum este definită în capitolul următor, sau pe baza unui acord între producător și utilizatorul final.

Programul de calculator dezvoltat pentru controlul analizorului de imagini de intrare a datelor, pentru măsurare și analiza datelor este citit în unitatea centrală de procesare pentru a iniția analiza. Se introduc datele de intrare referitoare la identificarea specimenului, solicitantul datelor, constanta de calibrare, data, numărul de câmpuri, spațierea câmpurilor și așa mai departe.

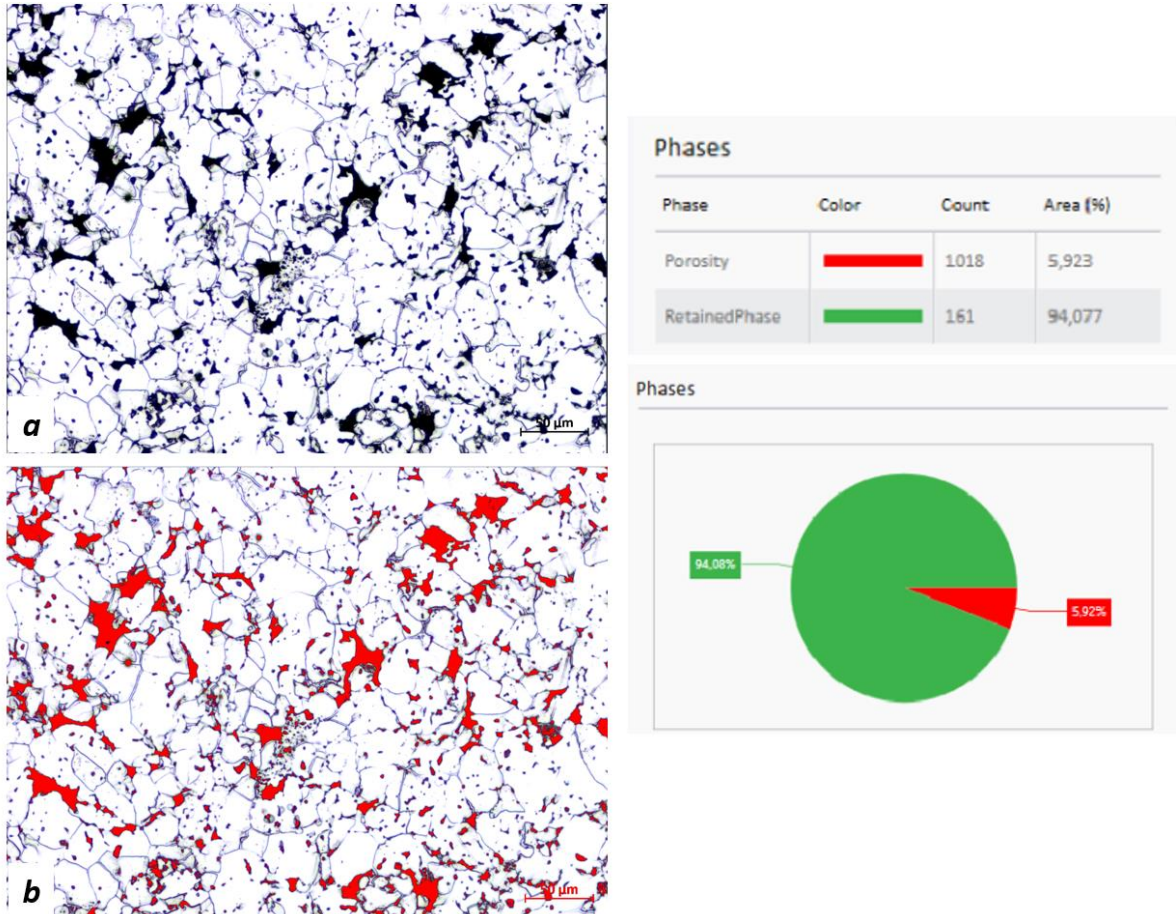


Fig. 2.3.5- determinarea procentului de porozitate într-un oțel sinterizat prin analiza imaginii. Detaliu al microstructurii înainte (a) și după (b) elaborarea imaginii. Sursă: Sursa: IIS la-boratoriu

2.3.4.3. Analiza statistică

Erorile de analiză pot fi introduse din numeroase surse; unele dintre acestea sunt raportate în cele ce urmează:

- Eșantionul selectat nu a putut fi reprezentativ pentru întreaga microstructură.
- Pregătirea necorespunzătoare a probei.
- Competențele și abilitățile operatorului (de exemplu, capacitatea inadecvată de a identifica microstructurile).
- Omogenitatea eșantionului, mărirea și numărul de câmpuri măsurate afectează dispersia și repetabilitatea datelor.

Variabilitatea microstructurală nu este o măsură a erorilor, dar influențează rezultatele testelor, pe măsură ce variabilitatea crește, crește efortul necesar pentru a obține o estimare statistică fiabilă a parametrilor structurali.

Calculul estimării procentului de volum și al preciziei relative procentuale este prezentat mai jos. Valoarea multiplicatorului t poate fi găsită în următorul tabel extras din ASTM E562.

<i>Nr. de domenii n</i>	<i>t</i>	<i>Nr. de domenii n</i>	<i>t</i>
5	2,776	19	2,101
6	2,571	20	2,093
7	2,447	21	2,086
8	2,365	22	2,080
9	2,306	23	2,074
10	2,262	24	2,069
11	2,228	25	2,064
12	2,201	26	2,060
13	2,179	27	2,056
14	2,160	28	2,052
15	2,145	29	2,048
16	2,131	30	2,020
17	2,120	40	2,000
18	2,110	60	1,960

Tab. 2.3.2 - multiplicatori ai intervalului de încredere de 95%. [3] ASTM E562:2011 - Metode standard de testare pentru determinarea fracției de volum prin numărarea manuală sistematică a punctelor.

Sursa: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Standard Test Methods for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count (Metode standard de testare pentru determinarea fracției de volum prin numărare manuală sistematică a punctelor).

Media $\overline{P_p}$, estimatorul deviației standard S , intervalul de încredere de 95% (95%CI) trebuie calculat și înregistrat pentru fiecare set de câmpuri; ecuațiile utilizate pentru a calcula aceste valori sunt prezentate mai jos.



$$\bar{P}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_p(i)$$

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [P_p(i) - \bar{P}_p]^2 \right]^{1/2}$$

$$95\% \text{ CI} = t \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Estimarea procentuală a volumului este dată de:

$$V_v = \bar{P}_p \pm 95\% \text{ CI}$$

O estimare a procentului de precizie relativă asociată cu estimarea poate fi obținută astfel:

$$\% \text{ RA} = \frac{95\% \text{ CI}}{\bar{P}_p} \times 100$$

Estimările privind numărul de câmpuri necesare pentru a obține o precizie relativă procentuală de 10, 20 sau 33 % cu diferite procente de volum și dimensiuni ale grilei sunt prezentate în tabelul următor, preluat din ASTM E562. Aceste valori au fost calculate în ipoteza că elementele au o distribuție aleatorie pe secțiunea metalografică.

	33 % Precizie relativă				20 % Precizie relativă				10 % Precizie relativă			
	Numărul de câmpuri n pentru o grilă de PT				Numărul de câmpuri n pentru o grilă de PT				Numărul de câmpuri n pentru o grilă de PT			
Cantitatea de fracție volică V _v în procente	16 puncte	25 puncte	49 puncte	100 puncte	16 puncte	25 puncte	49 puncte	100 puncte	16 puncte	25 puncte	49 puncte	100 puncte
2	110	75	35	(20)	310	200	105	50	1250	800	410	200
5	50	30	(15)	(8)	125	80	40	(20)	500	320	165	80
10	(25)	(15)	(10)	(4)	65	40	(20)	(10)	160	160	85	40
20	(15)	(5)	(5)	(4)	30	(20)	(10)	(5)	80	80	40	(20)

Tab. 2.3.3.3 - predicția numărului de câmpuri (n) care urmează să fie observate în funcție de precizia relativă de-sirată și de mărimea estimată a fracției volumice a con-stituentului. Sursa: [2.3.3] ASTM E562:2011 - Metode standard de testare pentru determinarea fracției de volum prin numărare manuală sistematică a punctelor.

Precizia relativă procentuală raportată ar trebui să fie calculată întotdeauna din datele eșantionului și nu ar trebui să fie luată din tabelul anterior.

2.3.5. Dimensiunea grăuntelui

Proprietățile și comportamentul unui aliaj metalic sunt direct influențate de dimensiunea grăuntelui. De fapt, măsurarea dimensiunii grăunților într-un metal policristalin este unul dintre cei mai importanți factori care trebuie determinați, în special în timpul producției și al controlului calității.

De obicei, la aceeași analiză chimică, un oțel cu granulație fină are caracteristici de tracțiune și rezistență la impact mai mari decât un oțel cu granulație grosieră. În schimb, un oțel cu granulație grosieră ar putea avea un comportament mai bun în regim de fluaj decât un oțel cu granulație fină.

Dimensiunile grăunților observate pe o secțiune transversală a structurii sunt utilizate pentru a determina dimensiunea plană a grăunților. Pentru a exprima dimensiunea grăuntelui se pot utiliza mai multe măsurători diferite:

- Diametrul mediu
- Suprafața medie
- Numărul de grăunțe pe unitatea de suprafață
- Lungimea medie de interceptie Numărul de grăunțe pe unitate de volum
- Diametrul mediu bazat pe volumul mediu al boabelor

Pentru a determina dimensiunea grăuntelui, secțiunile trebuie pregătite prin șlefuire și lustruire atentă pentru a descoperi granițele delimitate de gravura metalografică. Exemple de proceduri sunt descrise mai jos:

- Grauntii feritici trebuie să fie evidențiate prin decapare cu "Nital" sau cu un reactiv adecvat.
- Pentru oțelurile cu o structură austenitică monofazată sau bifazată (grăunți de ferită delta într-o matrice austenitică) la temperatura camerei, grăuntele se dezvoltă cu glicerină, "reactiv Kalling", "reactiv Marble" sau acid oxalic 10% în apă electrolitică.
- În cazul oțelurilor cu structură martensitică sau bainitică, uneori poate fi detectat grăuntele austenitic anterior. Acesta trebuie să fie evidențiat cu următoarea metodă, raportată în UNI EN ISO 643:

- o Metoda "Bechet-Beaujard" prin decapare cu soluție apoasă de acid picric saturat.
- o Metoda "Kohn" prin oxidare controlată.
- o Metoda "McQuaid-Ehn" prin carburare.

Descrierea metodelor menționate la punctul anterior nu fac obiectul acestui capitol. Informații suplimentare sunt furnizate în standardul UNI EN ISO 643.

Atât standardul UNI EN ISO 643, cât și ASTM E112 prezintă trei metode de determinare a dimensiunii medii a grăuntelui în vârstă. Acestea sunt raportate în punctele următoare și descrise mai jos:

- Procedura de comparație.
- Procedura planimetrică (sau procedura Jeffries).
- Procedura de interceptare - procedura de interceptare liniară (Heyn) și procedura de interceptare circulară.

ASTM E112 definește dimensiunea grăuntelui printr-un indice G, cunoscut sub numele de mărimea grăuntelui ASTM, așa cum se arată în tabelul 5.4; indicele G al mărimii grăuntelui ASTM este utilizat și de standardul european UNI EN ISO 643.

Dimensiunea grăuntelui Nr. G	Granunte/ Unitate de suprafață		Suprafața medie a grăuntelui		Diametrul mediu		Intercepție medie		N_L
	No./ln2 la 100x	No./mm ² la 1x	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	454.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.71
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.0
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	99.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1884.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	364.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11.223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0

12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

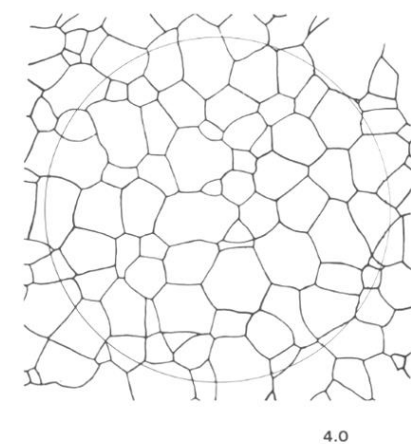
Tab. 2.3.4 - Relația de mărime a grăunților Calculată pentru grăunțe uniforme, orientate aleatoriu, echiaxate. Sursa: [2.3.6] ASTM E112 - Metode standard de testare pentru determinarea dimensiunii medii a grăunților.

2.3.5.1. Procedura de comparare

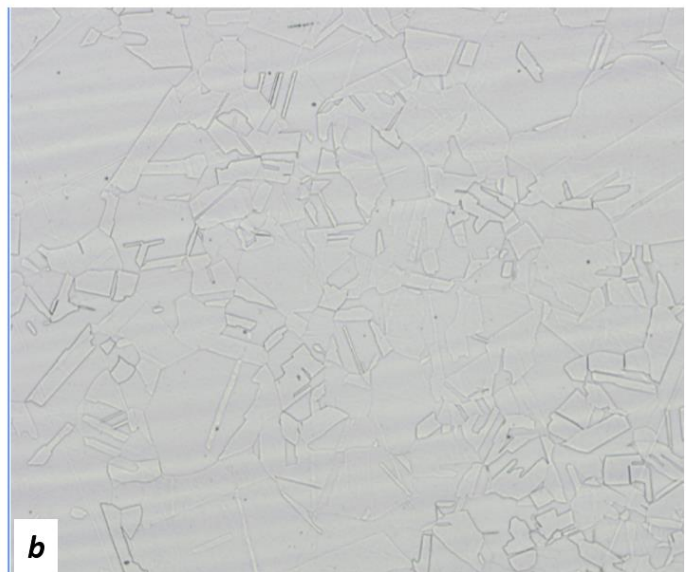
Imaginea examinată pe ecran este comparată cu o serie de diagrame standard. Graficele standard, la o mărire de 100 x, sunt numerotate de la - 07 la 17, astfel încât să fie egal cu indicele G. Procedura de comparare se aplică materialelor complet recristalizate sau turnate cu granule echiaxate.

În cazul în care estimările granulometrice se fac prin metoda de comparație cea mai convenabilă, verificările repetate efectuate de specialiști și/sau testele interlaboratoare au arătat că, dacă aspectul etalonului nu reflectă pe cel al eșantionului, poate apărea o eroare. ASTM E 112 prezintă patru tipuri de diagrame de comparație care minimizează astfel de erori.

Este foarte important să se verifice dacă mărirea pe care o comparăm este aceeași. Softurile actuale conțin aplicații cu diagrame încărcate care permit compararea directă.



a



b

Fig. 2.3.6 - exemplu de metodă de comparație. Imagine a unei diagrame de comparație (a) și detaliu al unui oțel austenitic obținut prin OM. Sursă: Laboratorul IIS

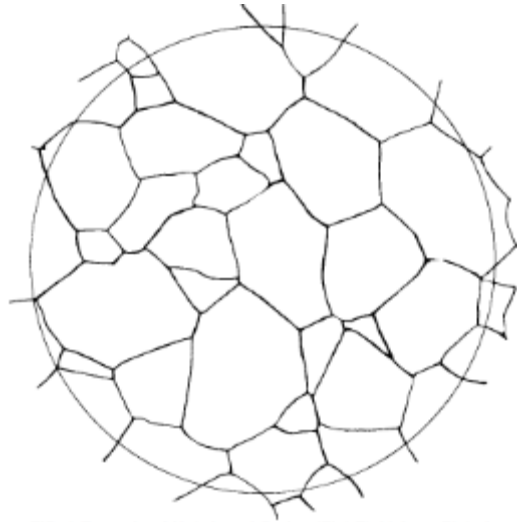


Fig. 2.3.7- exemplu de grăunți neîntortocheați (Flat Etchs) de pe placa I - mărimea grăuntelui nr. 3 la 100X - imagine preluată din ASTM E112. Sursa: [2.3.6] ASTM E112 - Standard Test methods for Determining Average Grain size (Metode standard de testare pentru determinarea dimensiunii medii a grăunților).

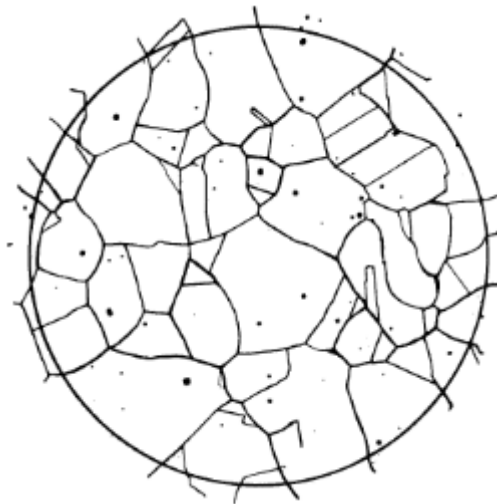


Fig. 2.3.8- exemplu de grăunți gemeni (gravuri plate) din placa II - dimensiunea grăuntelui nr. 3 la 100X - imagine preluată din ASTM E112. Sursa: [2.3.6] ASTM E112 - Metode standard de testare pentru determinarea mărimii medii a grăunților.



Fig. 2.3.9- exemplu de grăunți gemeni (gravuri de contrast) din placa III - dimensiunea grăuntelui 4 la 75X - imagine preluată din ASTM E112. Sursa: [2.3.6] ASTM E112 - Metode standard de testare pentru determinarea dimensiunii medii a grăunților.

2.3.5.2. Procedura de interceptare

Pentru această procedură, numărul de grăunți interceptați, N , sau numărul de intersecții ale limitei granulelor, P , trebuie numărat cu ajutorul unei linii de testare de lungime cunoscută pe un monitor de calculator sau pe o fotomicrografie a unui reprezentant al unui specimen la o mărire cunoscută.

Procedura de interceptare este recomandată pentru toate structurile care se abat de la forma echiaxată uniformă. În cazul structurilor anizotrope, există proceduri care permit estimarea separată a dimensiunilor în fiecare dintre cele trei direcții principale pentru a estima dimensiunea medie.

Linia de măsurare poate fi dreaptă sau circulară. Grila se aplică în mod aleatoriu la un număr adecvat de câmpuri pentru a avea un rezultat statistic.

Nu există o relație matematică directă între numărul ASTM de mărime a grăunților, G , și interceptația liniară medie, spre deosebire de relația exactă între interceptația liniară medie, l , și suprafața medie a grăunților, care este exactă pentru cercuri, dar nu este destul de exactă pentru o structură de formă uni-echiaxă.

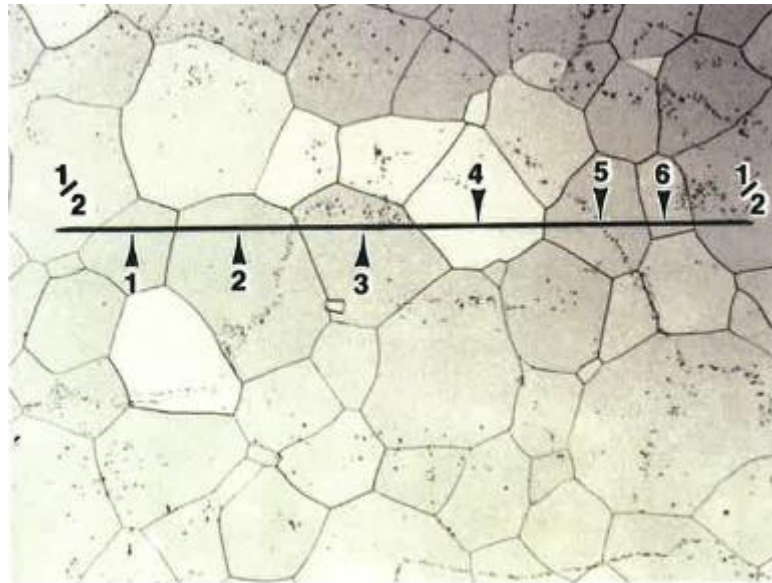


Fig. 2.3.10 - exemplu de intersecție N (intercepții). [2.3.7]

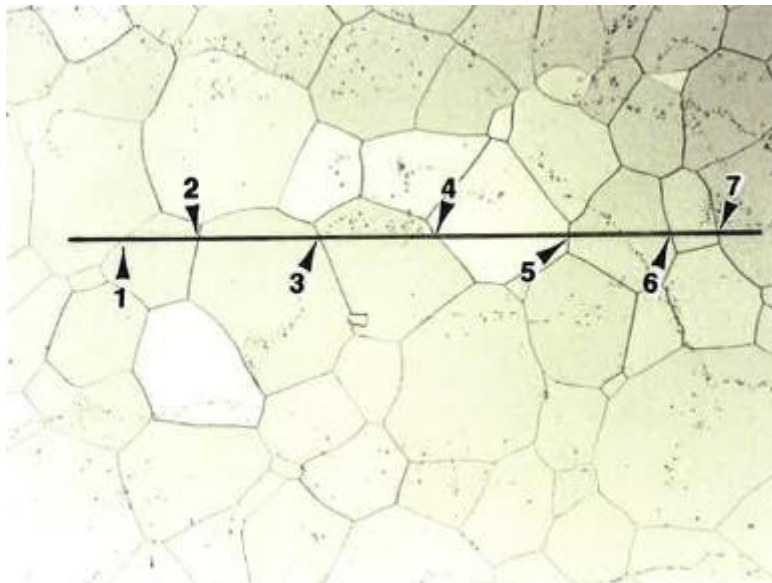


Fig. 2.3.11 - exemplu de intersecție P. Sursa: [2.3.7] UNI EN ISO 643 - Oțeluri - Determinarea micrografică a mărimii aparente a grăuntelui.

Metoda segmentelor de interceptare liniară:

Pentru a estima dimensiunea medie a graunțelor, se recomandă să se numere numărul de graunțe interceptate, prin una sau mai multe linii drepte suficient de lungi pentru a obține cel puțin 50 de interceptări. Nu este de dorit să se selecteze o combinație de lungime a liniei de testare și de mărire astfel încât un singur câmp să producă numărul necesar de interceptări.

Precizia estimării dimensiunilor granulelor prin metoda de interceptare este funcție de numărul de graunțe interceptate numărate.



O interceptare este un segment de linie de testare care se suprapune peste un grăunte. O intersecție este un punct în care o linie de testare este tăiată de limitele granulelor. Poate fi, de asemenea, numărată cu aceleași rezultate în cazul metalului monofazat.

Efectele unei abateri moderate de la o structură echiaxată pot fi eliminate prin numărarea interceptărilor, pe o matrice de linii, numărând liniile care au patru sau mai multe orientări.

Metoda de interceptare circulară:

Linia de măsurare este formată din trei cercuri concentrice. Mărirea sau diametrul cercului se selectează astfel încât să existe 40-50 de interceptări atunci când grila de măsurare depășește câmpul care urmează să fie examinat.

Metoda segmentului interceptat circular tinde să dea valori ușor mai mari ale segmentului interceptat și, prin urmare, un număr ușor mai mic de intersecții. Pentru a minimiza acest lucru, intersecțiile cauzate de un punct triplu sunt numărate ca două intersecții în loc de 1,5, așa cum se întâmplă în cazul metodei segmentului interceptat liniar.

Rezultate:

Valoarea medie a numărului de interceptări \bar{N} , sau de intersecții, \bar{P} se calculează cu următoarea formulă:

$$\bar{N}_L = \bar{N}/LT \text{ and } \bar{P}_L = \bar{P}/LT$$

În cazul graniței granulelor neechivoce, se pot utiliza trei linii orientate paralel cu cele trei linii ale planurilor principale de testare (longitudinale, transversale și plane). Numărul mediu de interceptări sau numărul mediu de intersecții se determină din rădăcina cubică a produsului a trei măsurători, în conformitate cu:

$$\bar{N}_L = (\bar{N}/LT_x \times \bar{N}/LT_y \times \bar{N}/LT_z)^{1/3} \text{ and } \bar{P}_L = (\bar{P}/LT_x \times \bar{P}/LT_y \times \bar{P}/LT_z)^{1/3}$$

Metodele moderne de măsurare a dimensiunii granulelor, cum ar fi analiza automată a imaginilor, pot fi utilizate pentru a măsura dimensiunea granulelor materialelor aplicabile, cu condiția ca acuratețea metodelor să fi fost dovedită anterior printr-o corelație încrucișată extinsă.

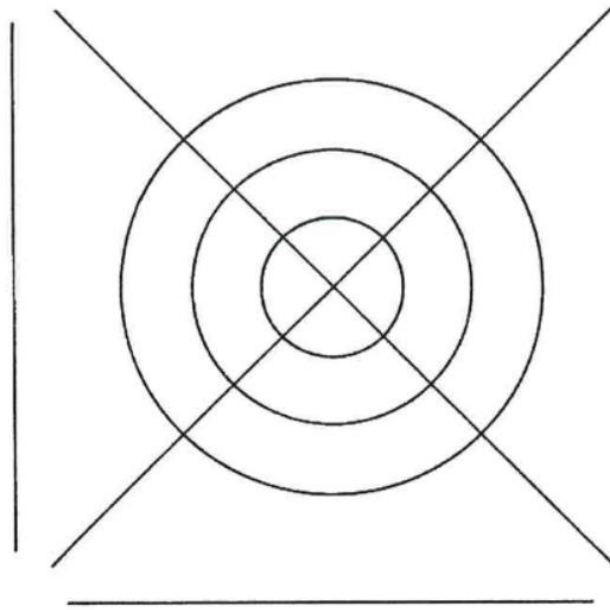
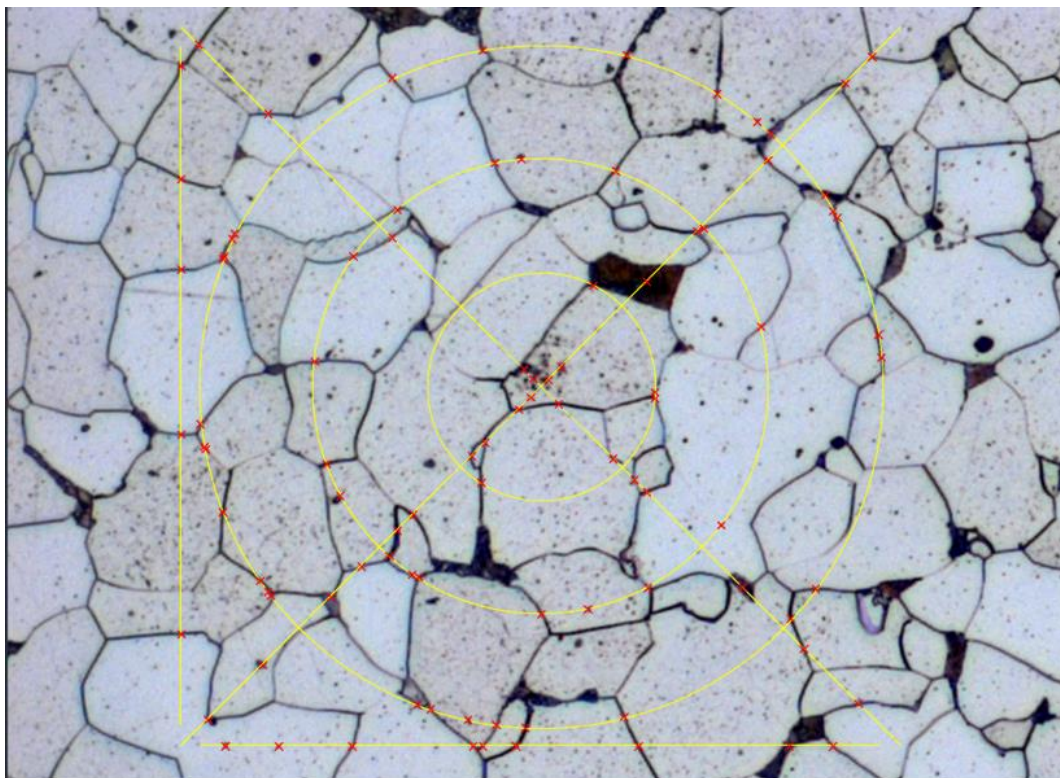


Fig. 2.3.12- grila de măsurare recomandată pentru procedura segmentului de interceptare. Sursa: [2.3.7] UNI EN ISO 643 - Oțeluri - Determinarea micrografică a dimensiunii aparente a grăunților.



Additional Results

Grain Size No.
5,0

Number of Intersections
94

Pattern Length [μm]
5770,000

Fig. 2.3.13- exemple de măsurători de interceptare efectuate pe un oțel carbon. Sursa: Laboratorul IIS.

2.3.5.3. Metode planimetrice

Metoda planimetrică este cea mai puțin utilizată, istoric un cerc cu diametrul de 79,8 mm a fost suprapus pe o imagine live, iar mărirea reală este afișată pe ecranul echipamentului. Mărirea trebuie ajustată astfel încât zona circulară să conțină cel puțin 50 de graunte.

Se fac două numere:

- 1 Este numărul de graunte complet în cercul de testare
- 2 Este numărul de graunte intersectate de cercul de testare.

Numărul total este echivalent cu:

$$N_{100} = n_1 + 0,5n_2$$

Numărul de graunte, m , pentru mm^2 pe suprafața specimenului se calculează după:

$$m = 2n_{100}$$

sau, în cazul oricărei măririi, g :

$$m = (g^2/5000)n_g$$

unde 5000 este aria cercului de încercare în mm^2 .

Această abordare presupune că, în medie, jumătate din grauntele intersectate de cercul de testare se află în cerc, în timp ce jumătatea rămasă se află în afara cercului. Această presupunere este valabilă pentru o linie dreaptă prin structura granulelor, dar nu pentru o linie curbată. Abaterea creată de această ipoteză crește pe măsură ce numărul de graunte din interiorul cercului de testare scade. Dacă numărul de graunte din cercul de testare este de cel puțin 50, abaterea este de aproximativ 2%.

O modalitate simplă de a evita această problemă este de a imagina un pătrat sau dreptunghi în timp ce se consideră că grauntele se intersectează în fiecare dintre cele patru colțuri, sunt un sfert în figură și trei sferturi în afara ei. Aceste patru graunte de colț reprezintă împreună un un graunte în cutia de testare. Ignorând cele patru graunte de colț se face o numărătoare pe n_1 - grauntele complet în cutie; și n_2 - grauntele intersectate de cele patru laturi ale cutiei. Ecuația devine:

$$N_{100} = n_1 + 0,5n_2 + 1$$

Numărul de granule, m , pentru mm^2 pe suprafața specimenului se calculează după:

$$m = (g^2/A_f)n_g$$

unde A_f este aria aparentă a figurii de testare utilizată pentru numărarea cerealelor în mm^2 .

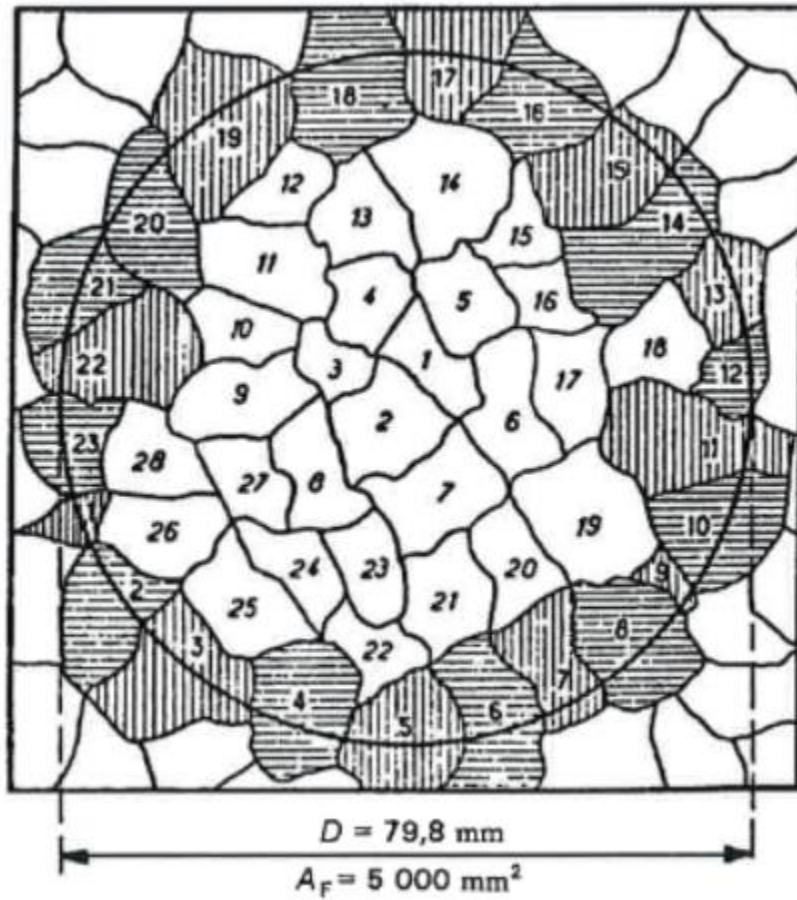


Fig. 2.3.14– evaluarea numărului de graunte într-o zonă închisă de un cerc. Sursă: [2.3.7] UNI EN ISO 643 – Oțeluri – Determinarea micrografică a graunților aparenti

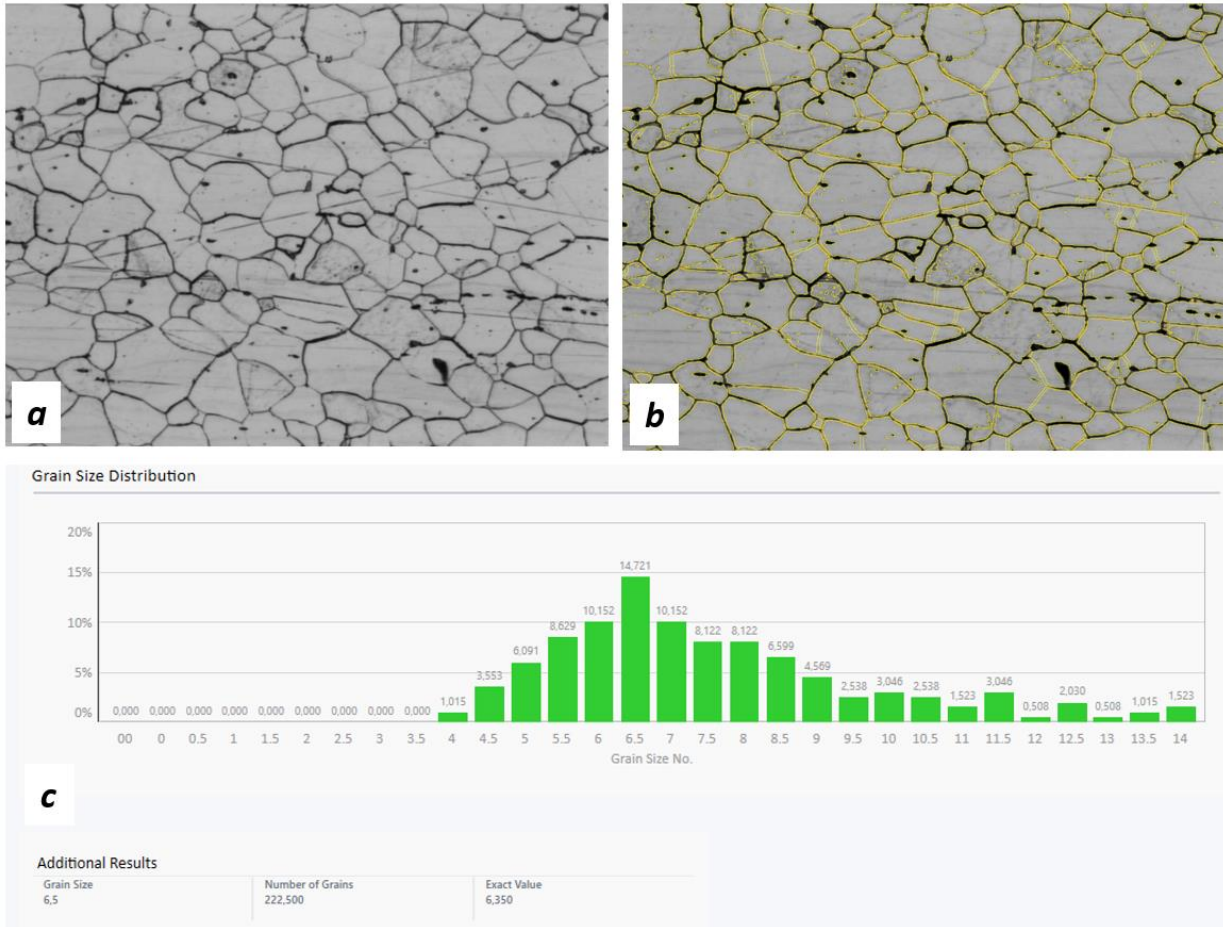


Fig. 2.3.15– exemple de măsurare planimetrică. Detaliu al structurii micrografice înainte de (a) și după (b) elaborarea imaginii prin software și a histogramului de distribuție a dimensiunii grantilor obținut (c). Sursa: Laboratorul IIS

Bibliografie:

[2.3.1] ASM HANBOOK – Volume 9 – Metallography And Microstructures.

[2.3.2] Metallography – Principles and practice – George F. Vander Voort – Directors, Research and technology Buehler, Ltd. Lake Bluff, Illinois.

[2.3.3] ASTM E562:2011 – Standard Test Methods for Determining Volume Fraction by Sistematic Manual Point Count.

[2.3.4] ASTM E1245:2003 - Standard Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis

[2.3.5] Metallographer's Guide – Practices and procedures for Iron and Steel – Bruce L. Bramfitt, Arlan O. Benschoter.

[2.3.6] ASTM E112 – Standard Test methods for Determining Average Grain size.

[2.3.7] UNI EN ISO 643 – Steels – Micrographic determination of apparent grain size.

2.4. Demonstrarea capabilităților programului pentru analiza imaginilor.

În acest capitol, vom explora conceptele cheie și uneltele folosite pentru a efectua analiza imaginilor metalografice, evidențiind procesul de la achiziția imaginii și până la prelucrarea acestora și interpretarea imaginilor obținute.

Stadiile variate implicate în pregătirea probelor metalografice, esențiale pentru obținerea unor imagini clare și detaliate, vor fi ilustrate. Subsecvent, vom examina importanța microscopelor în capturarea imaginilor și vom discuta tehnicile variate de iluminare care ajută la evidențierea caracteristicilor specifice microstructurale. În final, vom aprofunda în mediul digital, explorând software-uri specializate care permit analiza cantitativă a imaginilor metalografice, oferind o interpretare precisă și în profunzime a structurilor observate.

2.4.1.1 Pregătirea probelor

Pentru a obține o calitate bună a suprafețelor analizate, ar trebui să fie efectuată o lustruire mecanică, deoarece alte procese de lustruire (de ex. Lustruirea electrochimică) pot produce margini rotunjite sau artefacte.

Ultimele etape de lustruire pot fi efectuate cu suspensie de diamant de 3 μm sau mai puțin; este recomandat să se termine ultima etapă de lustruire cu suspensii pe bază de siliciu coloidal (diametrul particulelor abrazive mai mic de 0.1 μm). Procedura de șlefuire și lustruire trebuie aleasă pe baza tipului de aliaj care urmează să fie pregătit.

O procedură tipică pentru oțelurile carbon sau pentru oțelurile slab aliate este specificată în următorul punct:

- Primul pas: șlefuirea cu șmirghel SiC (granulație 220) sau un disc de șlefuire echivalent timp de câteva minute cu apă, pentru a obține planeitatea corectă a probelor.
- Al doilea pas: șlefuirea cu un disc cu suspensie de diamant cu particule de 9 μm.
- Al treilea pas: lustruirea cu lavete de lustruit cu suspensie de diamant cu particule cu diametrul de 3 μm.

- Al patrulea pas: lustruirea folosind lavete de lustruit cu suspensie de diamant cu particule cu diametrul mai mic de 0.1 μ m.

Dacă este disponibil, se preferă sistemele automate pentru a obține suprafețele de oglindă finale corecte ale probei metalice.

Pentru unele analize, cum ar fi probele caracterizate prin fragilitate și deteriorare, alte precauții pot fi adoptate. Precauțiile tipice includ măsurarea grosimii stratului de oxid (spre exemplu magnetita în tubul cazanului) sau evaluarea porozității la acoperirea prin pulverizare termică, în care etapele de șlefuire ar putea rupe stratul generând erori de măsurare. În aceste cazuri, pot fi necesare procedee mai precise de tăiere (de ex. Mașină de tăiat automată) și montarea dublă (înainte și după tăiere).

Zgârieturile pe secțiunea micrografică pot fi detectate ca zone întunecate folosind software-uri pentru analiza imagistică și cauzează o supraestimare a fazei măsurate. Aceste tipuri de defecte necesită supraveghere constantă a analizei imagistică de către operator/tehnician.

2.4.1.2 Demonstrarea unor cazuri practice de determinare a Feritei Delta

Cele mai comune aplicații ale metodei de determinare a fracției de volum sunt enumerate mai jos:

- Determinarea unui procent de Ferită Delta în metalul sudat al oțelurilor inoxidabile austenitice.
- Determinarea unui procent de Ferită Delta într-un oțel inoxidabil Duplex.
- Evaluarea conținutului de incluziuni dintr-un oțel sau alte aliaje.
- Evaluarea procentului de porozitate în turnare, sudare, lipire și acoperire.

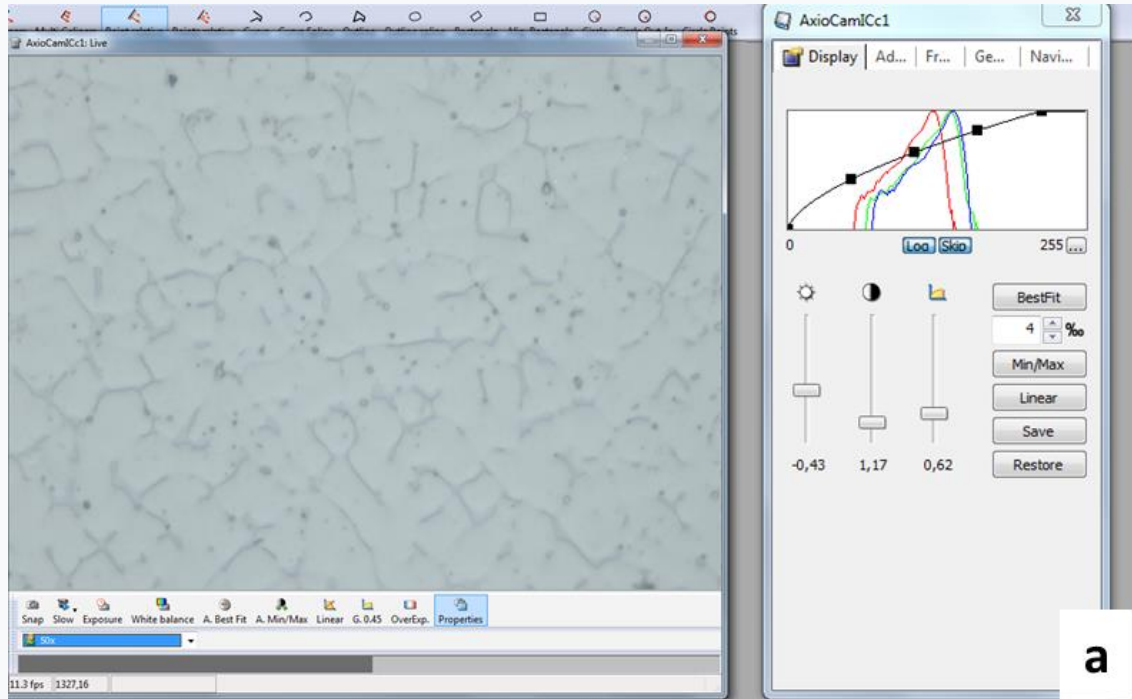
Cantitatea de Ferită Delta la care ne așteptăm în îmbinările sudate din oțel inoxidabil austenitic se află într-un interval de 5-15%. O cantitate mică de Ferită Delta reduce sensibilitatea la fisurare la cald a îmbinării sudate; totuși, o cantitate mai mare, reduce duritatea la temperaturi scăzute și rezistența la coroziune.

Obseervarea secțiunilor micrografice se realizează cu un Microscop Optic, de obicei fiind alese obiective 100x, 200x sau 500x.

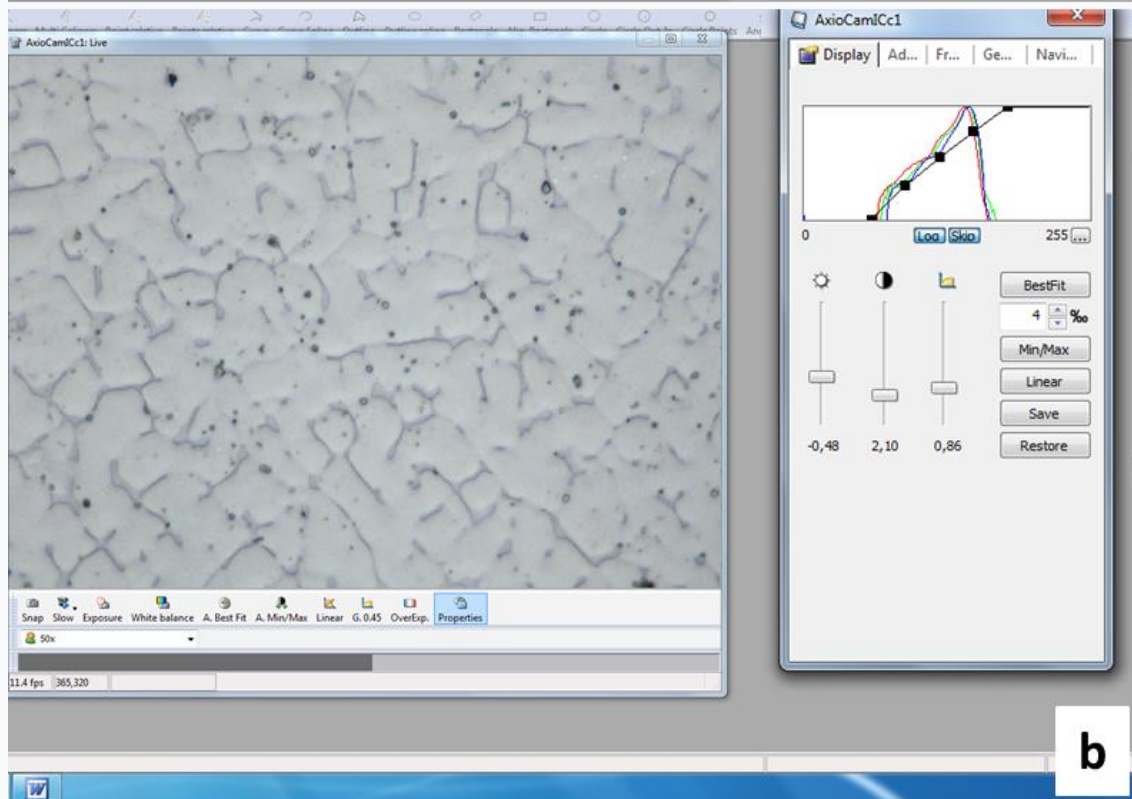


După o primă evaluare calitativă a cantității de Ferită Delta se poate folosi o grilă cu 25 sau 49 de puncte, așa cum este indicat în standardul ASTM E562. Uneori se poate efectua o măsurătoare preliminară cu lunetă de ferită pentru a selecta grila corectă.

Un exemplu de măsurători ale Feritei Delta prin metoda de numărare a punctelor prin software este preentat mai jos.



a



b



Fig. 2.4.1- Detaliile zonei sudată a unui oțel inoxidabil austenitic tip 316L. Figurile arată imaginea înainte(a) și după(b) optimizarea tabelului Lookup(LUT) Sursa: IIS Laboratory

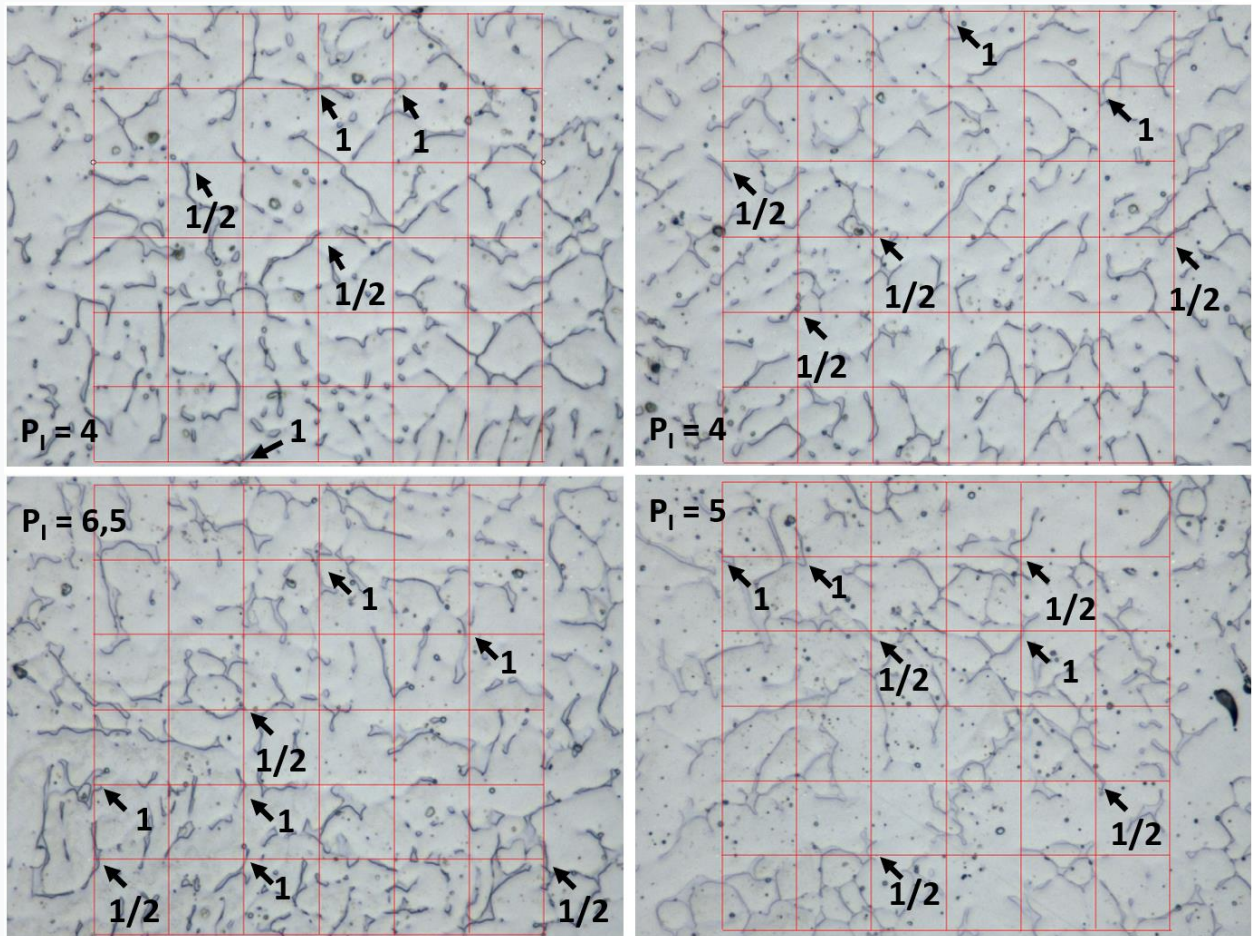


Fig. 2.4.2- Exemple de campuri analizate prin metoda numărării punctelor cu o grilă cu 49 de puncte. Sursa: IIS Laboratory

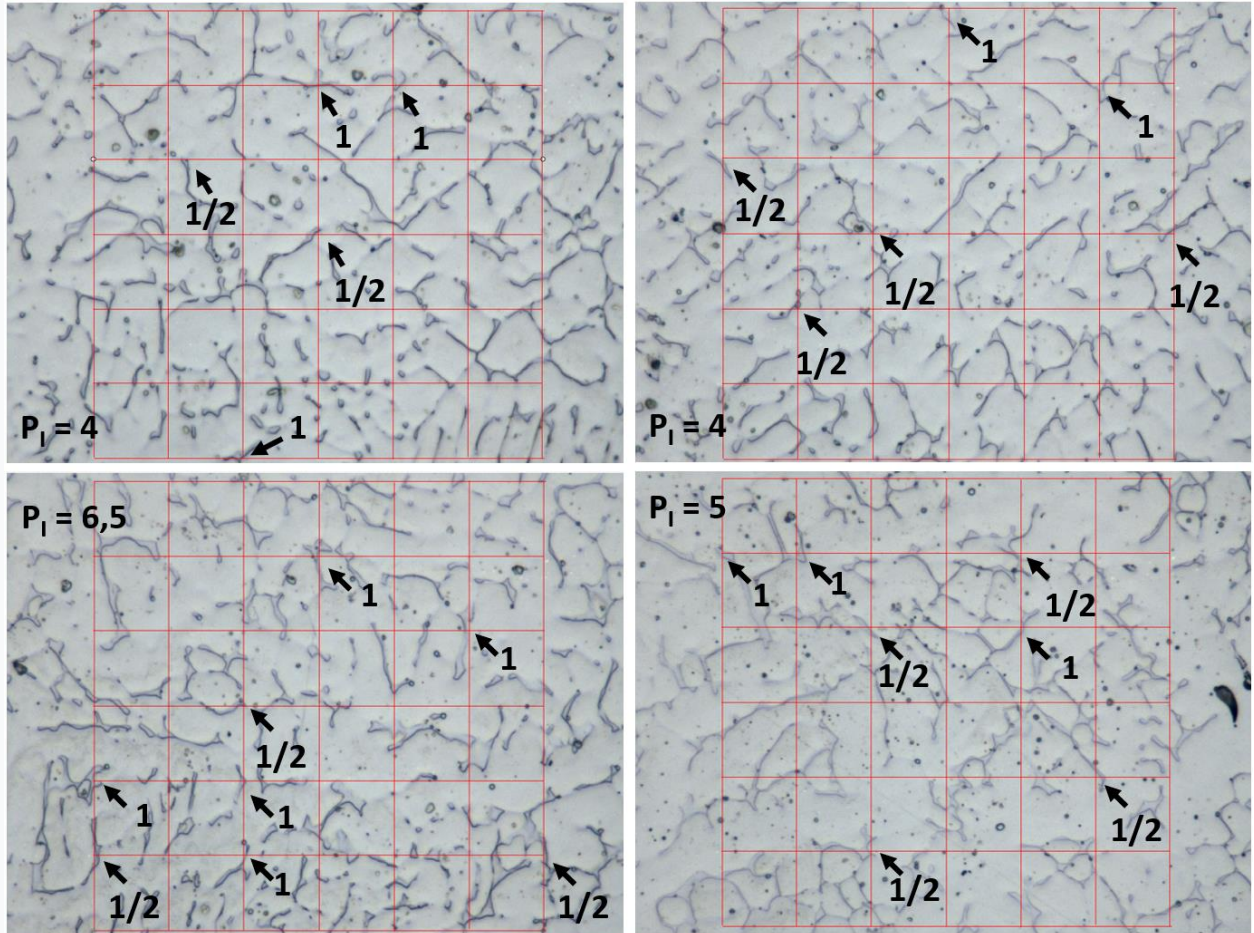


Fig. 2.4.2– Exemple de câmpuri analizate prin metoda numărării punctelor cu o grilă de 49 de puncte. Sursa: IIS Laboratory

$P_T = 49$			
<i>Number of fields counted n</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>85</i>
<i>Percentage of grid points P_p</i>	10,41	10,31	10,17
<i>95% Confidence interval</i>	1,52	1,02	0,57
<i>Relative accuracy % R_a</i>	14,56	9,94	5,65
<i>Standard deviation</i>	2,40	2,29	2,59

Tabelul 2.4.1– Procentul de ferită măsurat prin numărarea punctelor corespunde cu P_p .
 Tabelul arată cum crește acuratețea măsurării pe măsură ce crește numărul de câmpuri
 măsurate. Sursa: IIS Laboratory.

O altă aplicație a metodei de numărare a punctelor este determinarea unui procent de ferită
 Delta în oțel inoxidabil Duplex.

Oțelurile inoxidabile duplex combină avantajele oțelurilor inoxidabile feritice și austenitice.
 Proprietățile sunt determinate de compoziția chimică și echilibrul de fază. Conținutul ridicat
 de crom și aliajul cu azot, contribuie la rezistența ridicată și rezistența la coroziune
 intergranulară. Fisurarea prin coroziune sub tensiune este superioară în comparație cu alte
 clase austenitice.

Oțelurile inoxidabile duplex au la bază sistemul de aliaje Fe-Cr-Ni-N. Compoziția chimică a
 acestor oțeluri a fost ajustată astfel încât microstructura metalului de bază să fie compusă din
 aproximativ 50% ferită și 50% austenită. Cu toate acestea, toate oțelurile inoxidabile duplex
 se solidifică ca practic 100% ferită și depind de transformarea parțială în stare solidă în
 austenită pentru o microstructură echilibrată. Se adaugă azot ca element de aliere pentru a
 accelera formarea fazei de austenită și pentru a o stabiliza.

În general, oțelurile inoxidabile duplex au un raport mai mare dintre elementele care promovează ferită și elementele care promovează austenita decât oțelurile inoxidabile austenitice. Următoarea figură indică faptul că aliajele al căror echivalent crom WRC-1992 este de aproximativ 1,85 ori echivalentul lor de nichel, sau mai mult, se vor solidifica sub formă de ferită 100%; oțelurile inoxidabile duplex au de obicei rapoarte între 2,25 și 3,5.

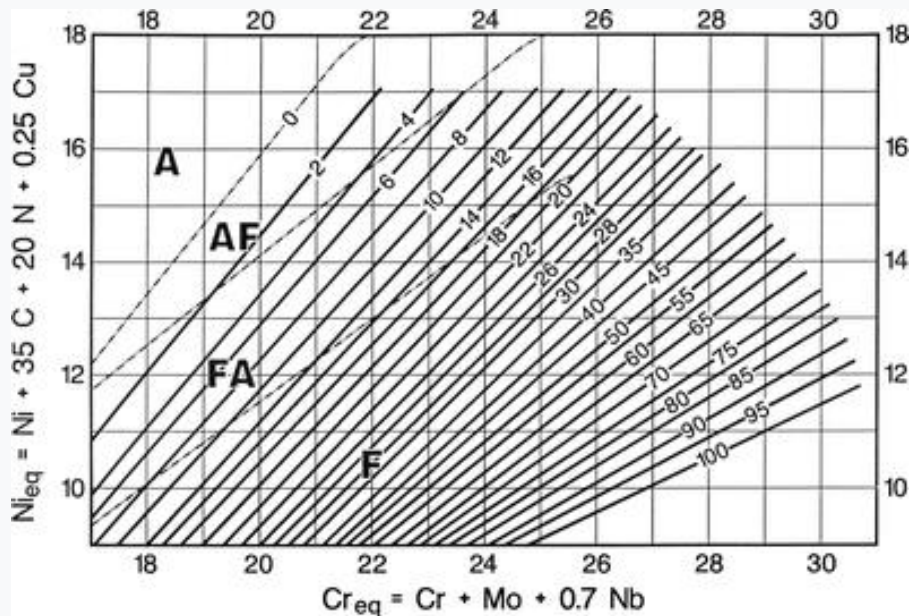


Fig. 2.4.3– Diagrama WRC 1992, utilizată pentru estimarea numărului de ferită pe baza $Cr_{eq} = Cr + Mo + 0,7Nb$ și $Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N + 0,25Cu$. Sursa: [2.4.2] Diagrama constituțională WRC-1992 pentru metalele de sudură din oțel inoxidabil

Din aceste motive, pe lângă analiza chimică, verificarea distribuției fer-ritei și austenitei este foarte adesea necesară pentru evaluarea calității și performanței acestora. De obicei, se utilizează grila cu 16 puncte, așa cum este indicat de standardul ASTM E562. Un exemplu de măsurători de ferită/austenită prin metoda de numărare a punctelor prin software este prezentat mai jos.

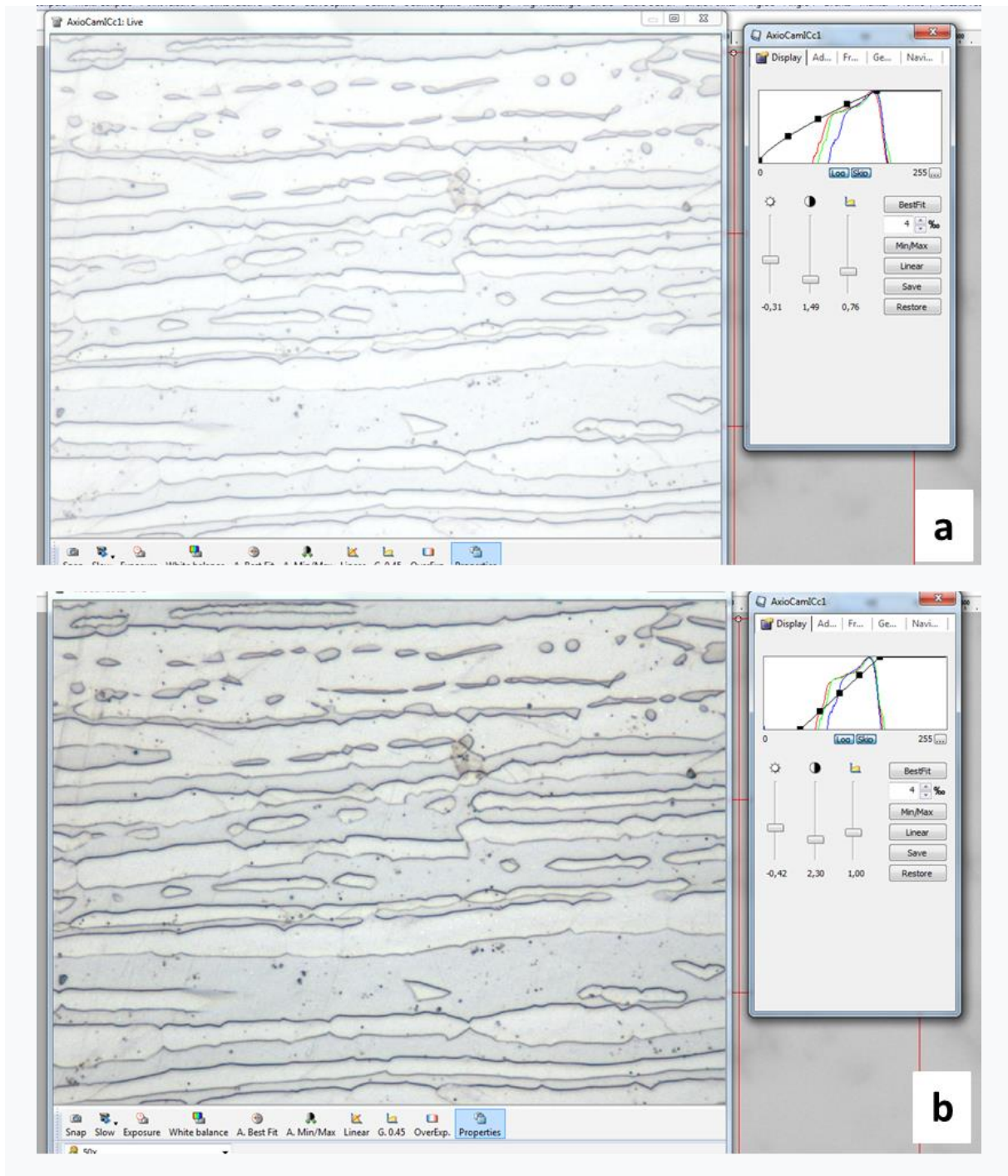


Fig. 2.4.4– Detalii ale unui duplex din oțel inoxidabil tip 2205. (a) Așa cum este luat. (b) După optimizarea tabelului de căutare (LUT). Sursa: IIS Laboratory

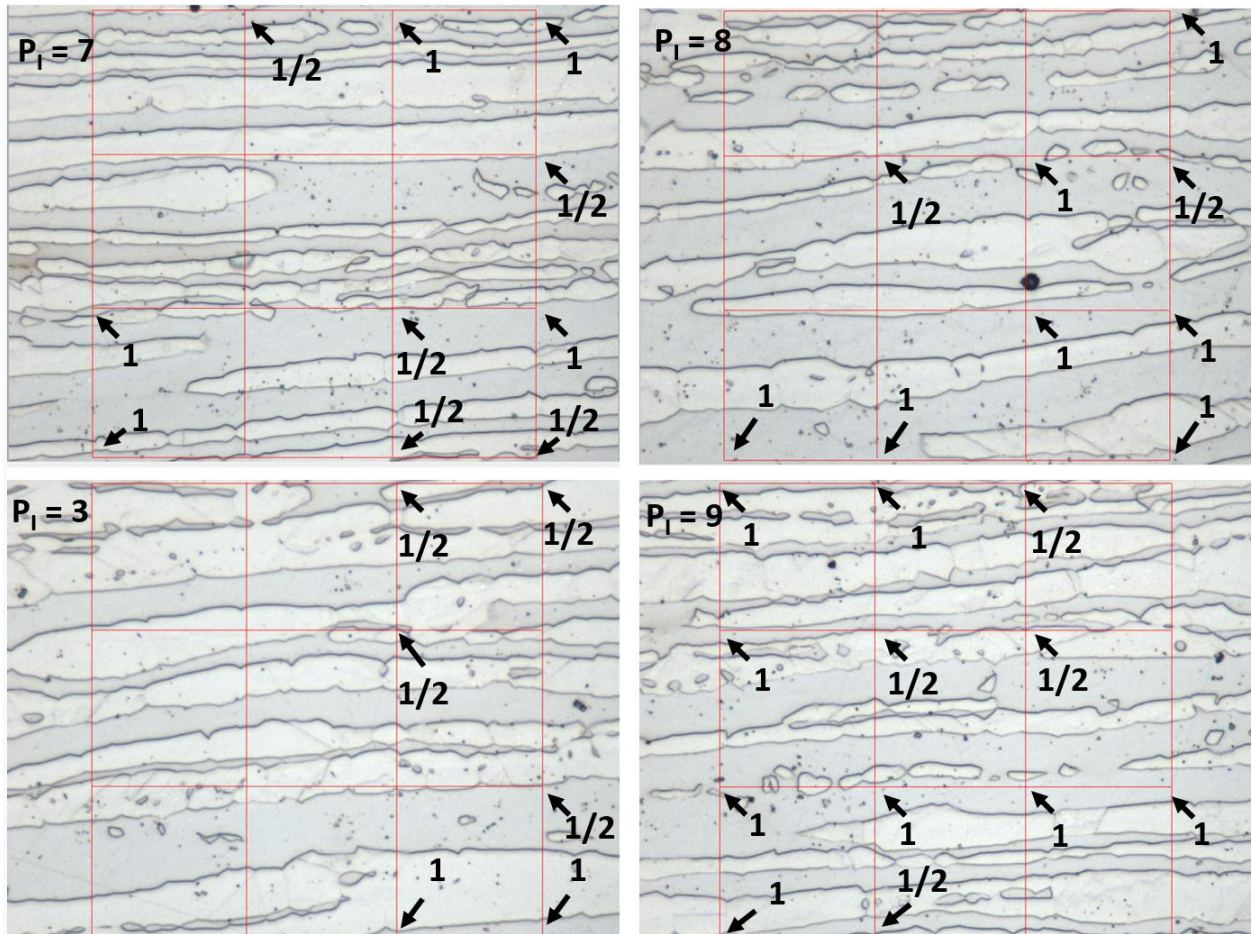


Fig. 2.4.5– Exemple de câmpuri analizate prin metoda numărării punctelor cu o grilă de 16 puncte. Sursa: IIS Laboratory

$P_T = 49$			
<i>Number of fields counted n</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>85</i>
<i>Percentage of grid points P_p</i>	42,19	44,53	44,53
<i>95% Confidence interval</i>	7,17	4,77	2,16
<i>Relative accuracy % Ra</i>	17,00	10,72	4,84
<i>Standard deviation</i>	11,34	10,68	9,65

Tabelul 2.4.2– Procentul de ferită măsurat prin numărarea punctelor corespunde cu P_p .
Tabelul arată cum crește acuratețea măsurării pe măsură ce crește numărul de câmpuri
măsurate. Sursa: IIS Laboratory

2.4.1.1 Demonstrarea unor cazuri practice de evaluare a procentului de porozitate

Imaginea de analiză își găsește o altă aplicație importantă, nu numai în determinarea fazelor, ci și în evaluarea porozității și/sau a discontinuității în cadrul unei matrice. Porozitatea poate fi prezentă în sudare, lipire sau într-un anumit tip de acoperire (de exemplu, acoperire prin pulverizare termică).

În îmbinările de sudură sau lipire, porozitatea este o imperfecțiune (nr. 200 în UNI EN ISO 6520-1) și de aceea necesită a fi evaluată prin criterii de acceptabilitate selectate pe baza componentei.

Evaluarea procentului de porozitate trebuie efectuată pe suprafața proiectată evaluată și prin examinare radiografică (vezi ISO 5817); însă evaluarea prin examen micrografic se poate realiza și este complementară.

Programele de analiză a imaginii permit obținerea măsurătorilor liniare ale diametrului maxim și zonelor porilor și cavitațiilor.

Procedura de măsurare a porozității poate fi rezumată în următorii pași:

- Achiziție de imagine: Obțineți imagini de înaltă rezoluție ale zonei interesante folosind un microscop optic sau electronic. Asigurați-vă că imaginile sunt clare și bine focalizate.
- Pregătirea imaginii: Încărcați imaginea achiziționată într-un software de procesare a imaginii (de exemplu, ImageJ sau alt software specific) și aplicați un filtru pentru a reduce zgomotul imaginii, cum ar fi un filtru gaussian sau median.
- Binarizare: Aplicați un algoritm de binarizare pentru a separa zonele poroase de alte părți ale imaginii și alegeți un prag adecvat pentru a distinge între pori și matrice.
- Măsurarea porozității: calculați raportul dintre suprafața totală a porilor și suprafața totală a zonei de lipire, exprimând porozitatea ca procent.
- Validare și corectare: revizuiți manual rezultatele obținute pentru a corecta orice erori de segmentare sau de măsurare.
- Raportare și interpretare: generați un raport care include imaginile procesate, porozitatea calculată și orice alte informații relevante.

Această procedură oferă un cadru general pentru analiza porozității în îmbinările de sudură sau lipire sau alte detalii folosind procesarea imaginii. Cu toate acestea, este important să adaptați această procedură pentru a se potrivi cerințelor specifice unui caz specific și echipamentului disponibil.

Un exemplu de analiză aplicată la porozitatea prezentă într-o îmbinare lipită pe un aliaj de cupru este prezentat în imaginile următoare.

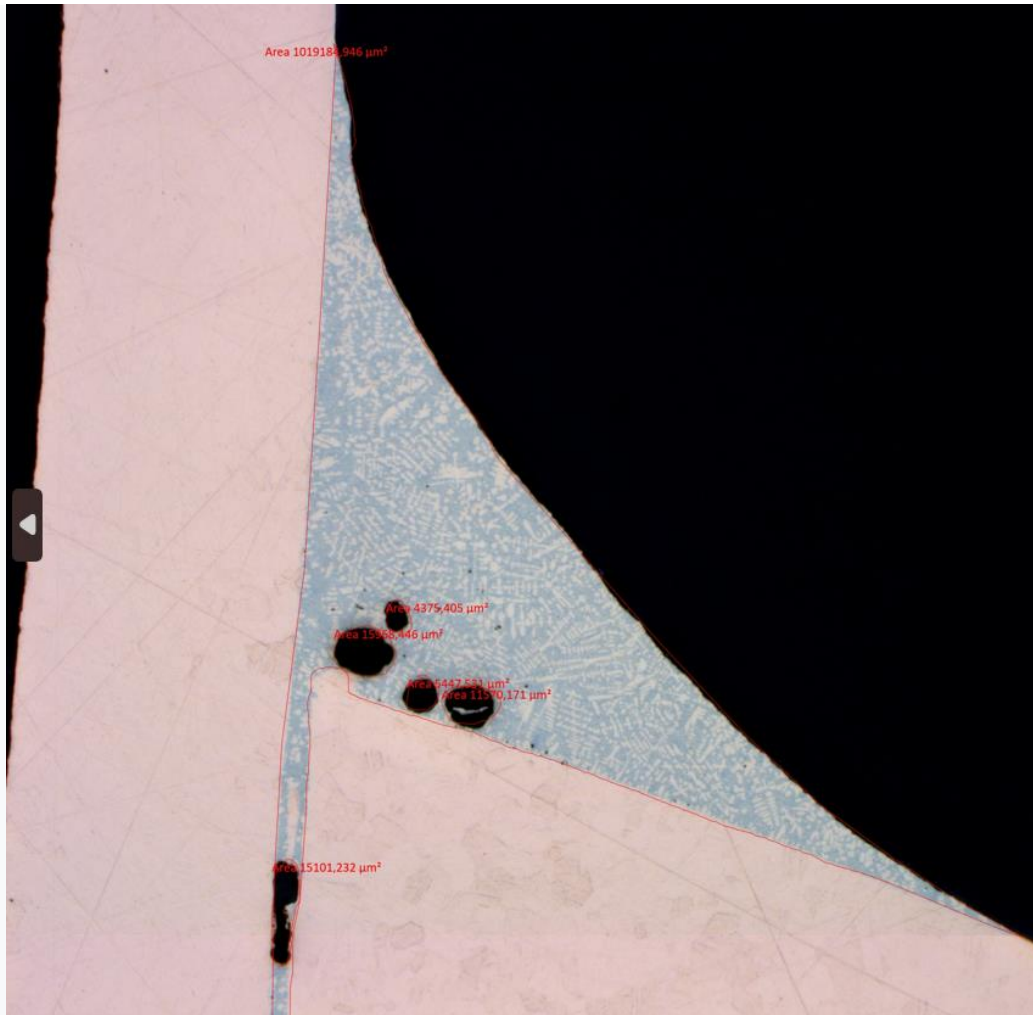


Fig. 2.4.6– Detaliu al unei îmbinări de lipire pe o componentă din aliaj de cupru. Zone de porozitate măsurate prin program de analiză a imaginii. Sursa: IIS Laboratory

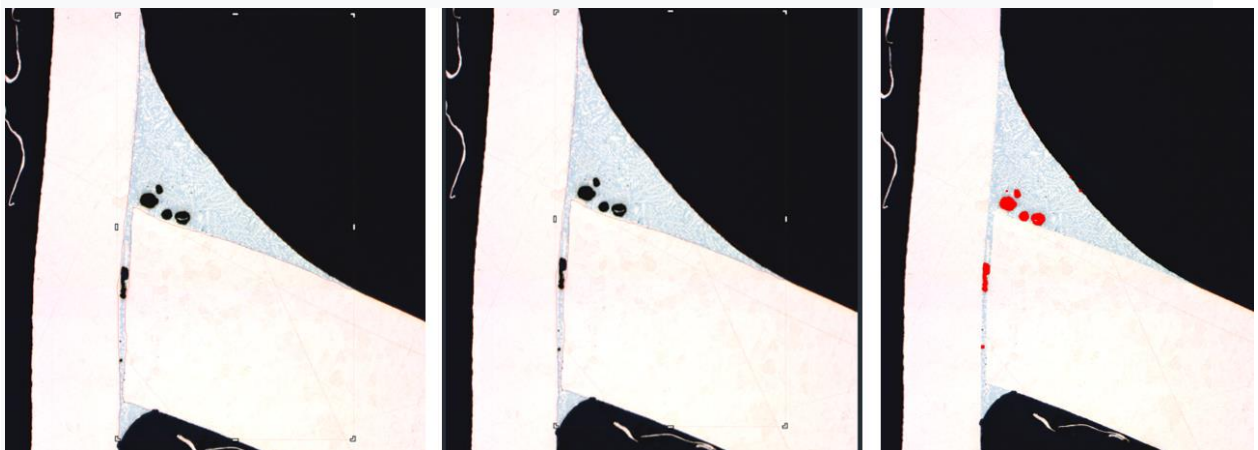


Fig. 2.4.7– Detaliu al unei îmbinări de lipire pe o componentă din aliaj de cupru. Procentul de porozitate măsurat prin programul de analiză a imaginii. Sursa: IIS Laboratory

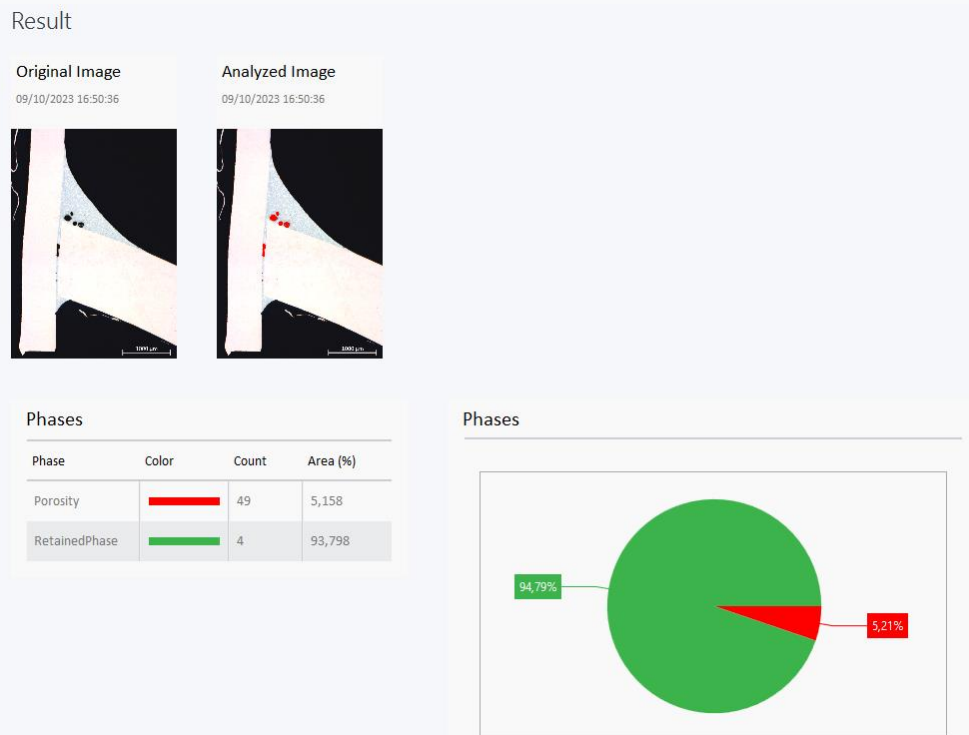


Fig. 2.4.8– Detaliu al unui raport obținut prin programul de analiză a imaginii. Procentul de porozitate la îmbinarea lipirii este de aproximativ 5,2 %. Sursa: IIS Laboratory

Analiza porozității prezentate într-un invelis obținut prin metoda pulverizării termice, observată în secțiune, este prezentată mai jos.

Evaluarea porozității unui strat produs prin procesul de pulverizare termică este esențială pentru a asigura calitatea, durabilitatea și performanța optime a acoperirii. Acest lucru contribuie la păstrarea integrității și eficacității obiectului acoperit în contextul său operațional.

Porozitatea și discontinuitatea influențează următoarele caracteristici:

- Duritate și rezistență;
- Adeziunea și Coeziunea;
- Rezistență la coroziune.

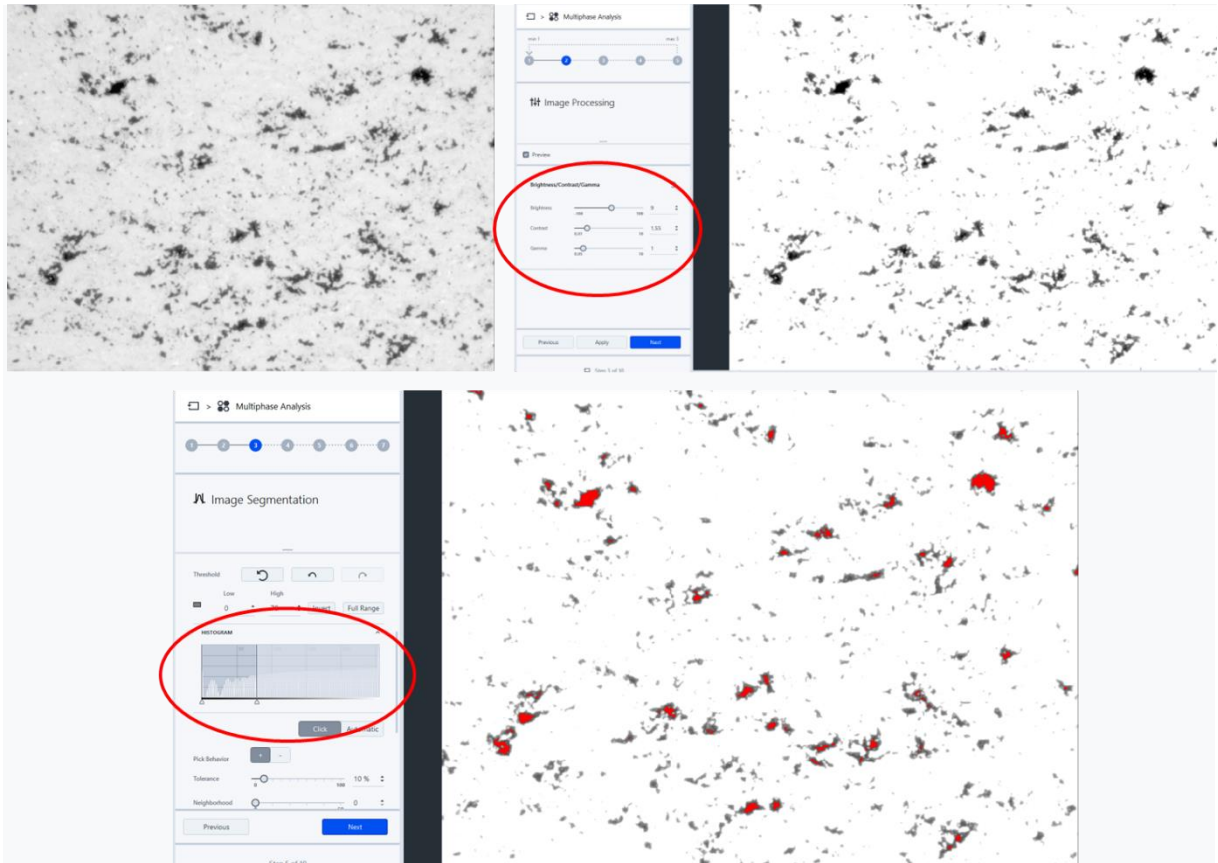


Fig. 2.4.9– Detaliu al unui strat de pulverizare termică. Procentul de porozitate măsurat prin programul de analiză a imaginii. Cifrele arată diferenții pași pentru optimizarea imaginii.

Sursa: IIS Laboratory

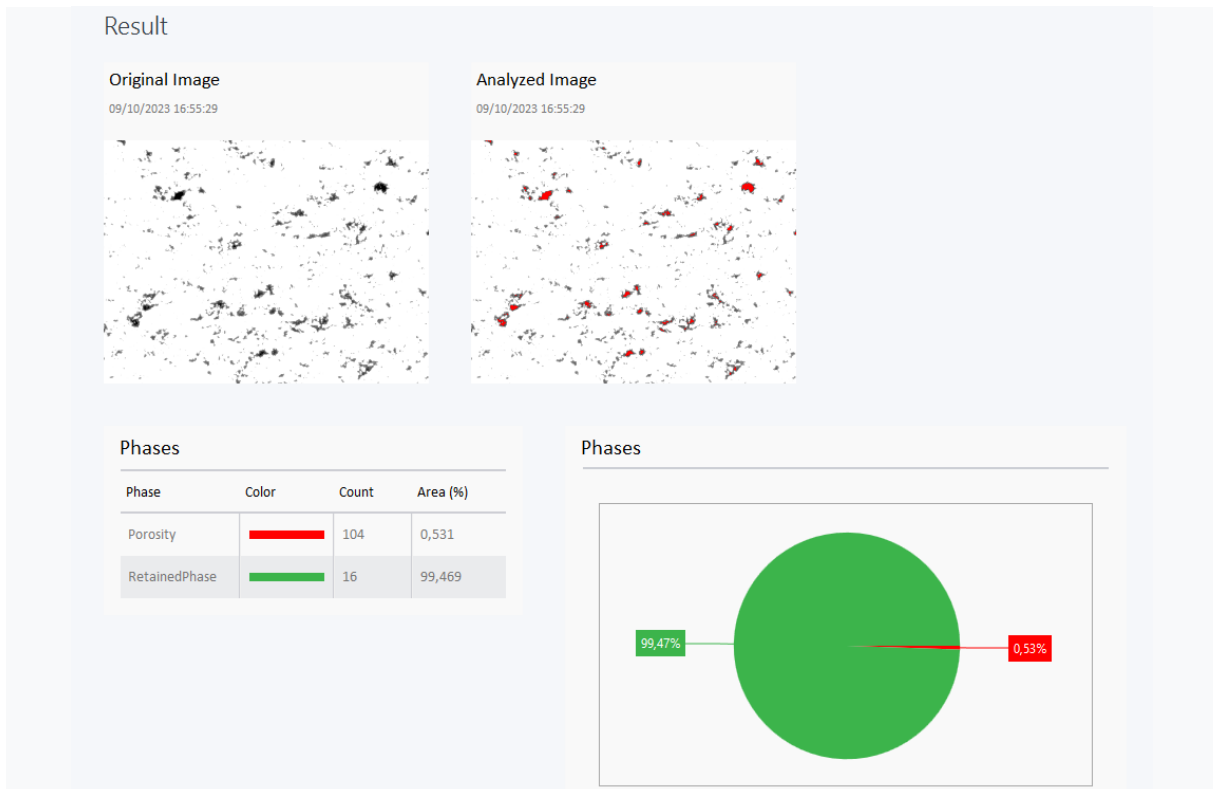


Fig. 2.4.10– Detaliu al unui raport obținut prin programul de analiză a imaginii. Procentul de po-rozitate pe acoperirea prin pulverizare termică este de aproximativ 0,53%.

Sursa: IIS Laboratory.

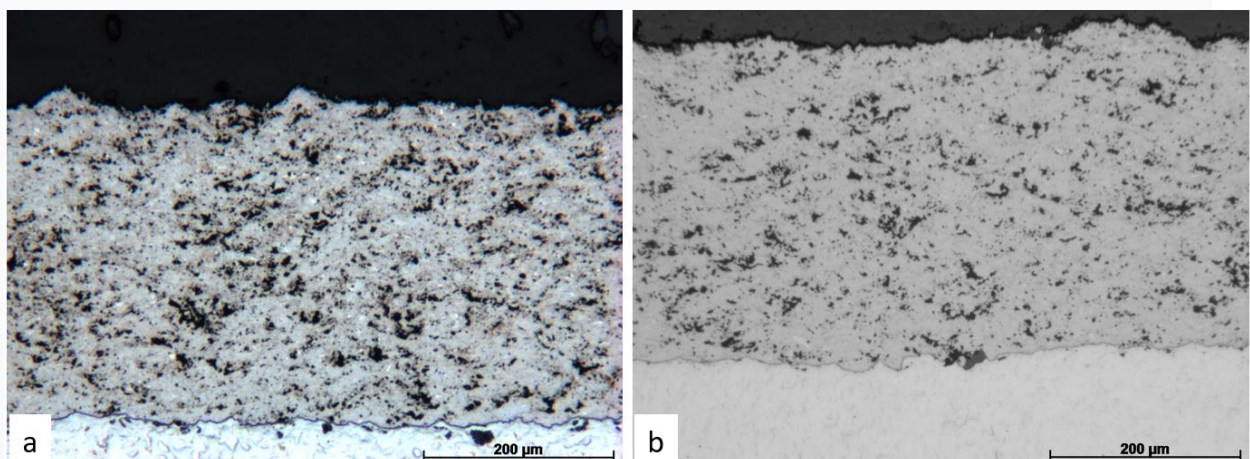


Fig. 2.4.11– Comparația între două secțiuni micrografice luate din aceeași acoperire prin pulverizare termică cu un preparat metalografic convențional(a) și cu un preparat

metalografic mai precis(b) cum ar fi utilizarea sistemelor automate de tăiere, montaj și slefuire presiune redusă, etc. Sursa: IIS Laboratory.

2.4.1.1. Demonstrarea unor cazuri practice de măsurare a mărimii granulelor

Măsurarea mărimii boabelor în industrie este un proces fundamental din mai multe motive:

- Permite controlul calității în timpul producției pentru a se asigura că materialul îndeplinește standardele și specificațiile cerute.
- Optimizarea proprietăților mecanice și fizice ale materialelor, deoarece dimensiunea și distribuția granulelor pot influența factori cheie precum duritatea, rezistența, ductilitatea și rezistența la oboseală.
- Dezvoltarea unor metode adecvate de prelucrare și tratare termică prin determinarea parametrilor optimi pentru a obține o microstructură dorită și a îmbunătăți performanța materialului.
- Predicția comportamentului pe termen lung a materialului în diferite condiții și medii de funcționare.
- Cercetare și dezvoltare de noi materiale și optimizarea celor existente, permițând proiectarea de materiale cu performanțe superioare pentru aplicații specifice.

Pe scurt, măsurarea granulelor metalografice este crucială pentru înțelegerea structurii microscopice a materialelor metalice și pentru optimizarea proprietăților materialelor, îmbunătățind astfel calitatea, eficiența procesului de producție și progresele în metalurgie și aplicații industriale.

Dimensiunea boabelor poate fi o cerință specifică pentru unele standarde europene sau americane, cum ar fi următoarele exemple:

- Oțelurile de cementare au adesea specificații privind dimensiunea granulelor pentru a asigura o structură controlată și uniformă după tratamentul termic de catalizare (EN 10084).
- Oțelurile aliate cu crom-molibden necesită adesea controale asupra mărimii granulelor pentru a asigura o mai bună lucrabilitate și performanță mecanică (ASTM A519).
- Specificațiile pentru oțelurile care trebuie să fie supuse tratamentului termic pot include cerințe privind dimensiunea granulelor pentru a asigura microstructura corectă după tratament (ASTM A304).

- Oțelurile utilizate în producția de arc de înaltă rezistență necesită adesea un control strict al mărimii granulelor pentru a asigura o performanță constantă și fiabilă (EN 10270).

Adesea, dimensiunea boabelor poate fi specificată ca o cerință în specificațiile produsului pe baza cunoștințelor companiei.

Următoarele imagini prezintă câteva exemple de măsurare a cerealelor cu diferitele metode descrise în paragraful anterior.

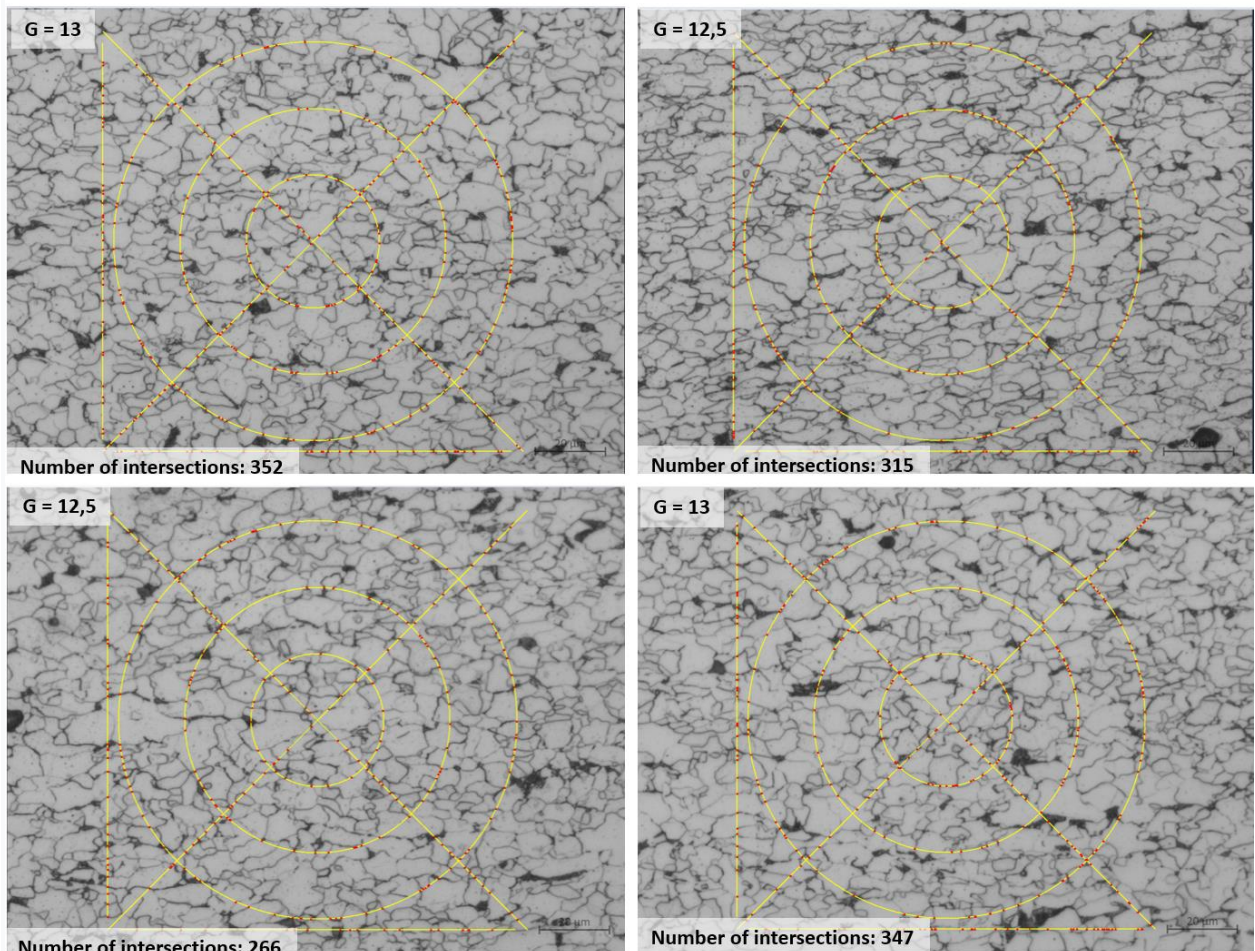


Fig. 2.4.12– Detalii ale unor câmpuri analizate prin metoda interceptării pe un oțel carbon cu granulație fină, conform UNI EN ISO 643. Sursa: IIS Laboratory.



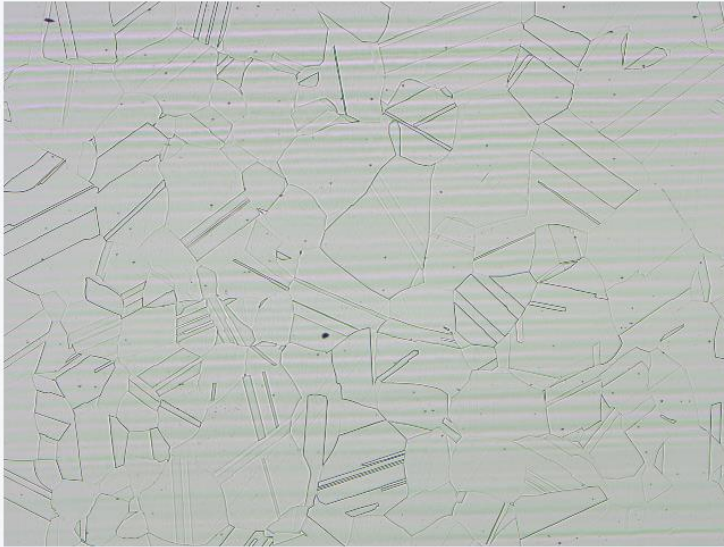
Fig. 2.4.12– Detalii de măsurare a granulometriei prin metoda de interceptare pe un oțel inoxidabil super austenitic (Tip AISI 310LMO), conform UNI EN ISO 643. Figura prezintă o eroare de măsurare a analizei imaginii din cauza incapacității de a distingeți granițele de cereale de gemenii de cereale. Sursa: IIS Laboratory.



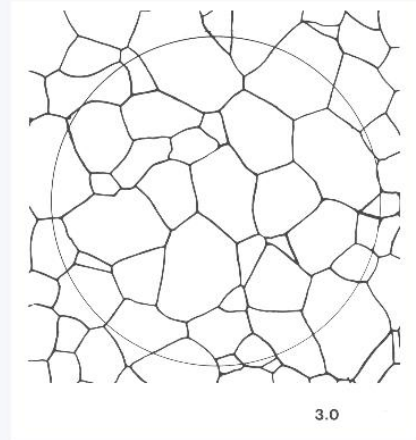
Result View

Image

12/10/2023 | 14:12:45



Selected Chart



Additional Results

Size
3.0

Fig. 2.4.13– Detalii de măsurare a granulometriei prin metoda de comparație pe un oțel inoxidabil super austenitic (Tip AISI 310LMO), conform UNI EN ISO 643. Granule neînfrânate (gravuri plate). Sursa: IIS Laboratory.

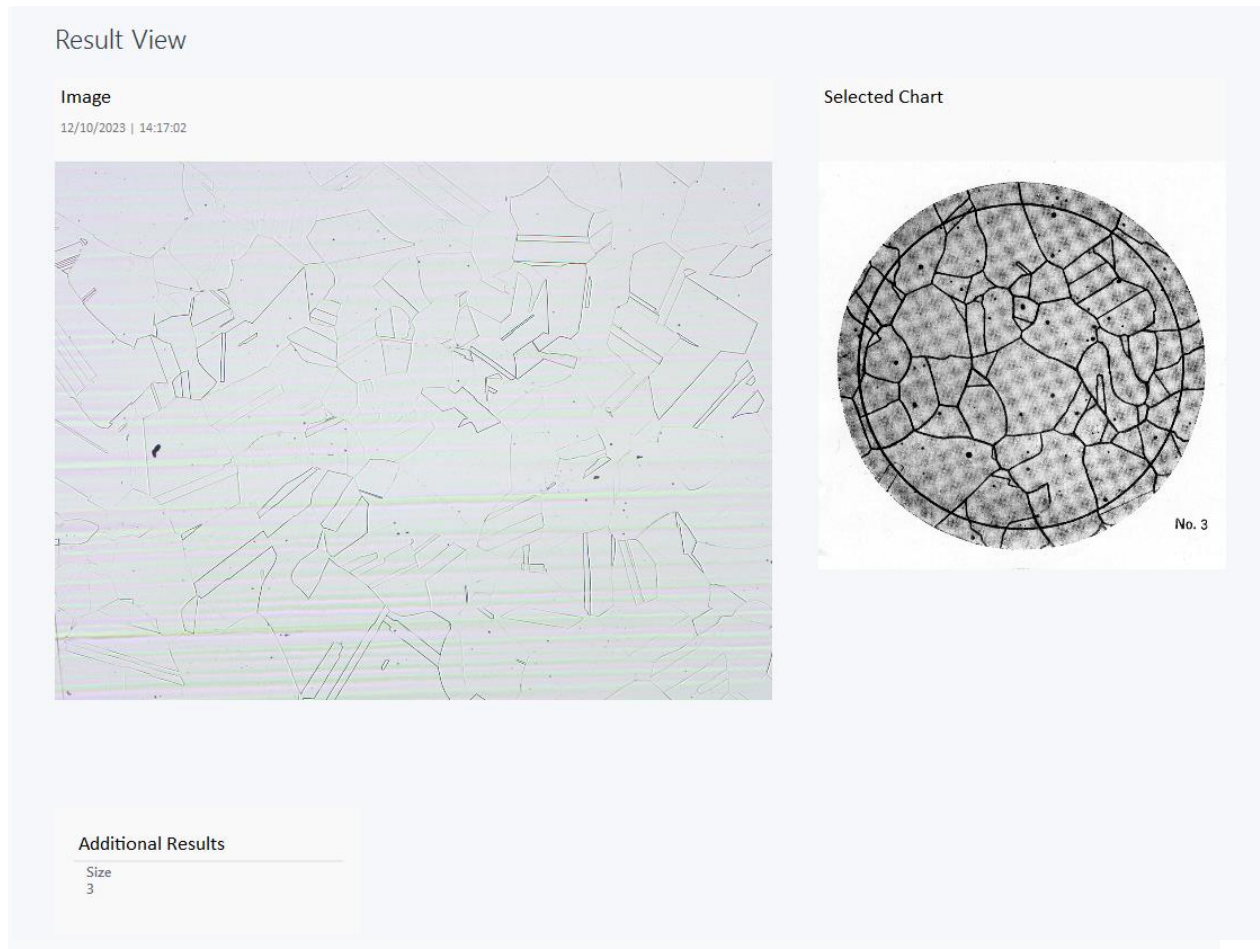


Fig. 2.4.14– Detalii de măsurare a granulometriei prin metoda de comparație pe un oțel inoxidabil super austenitic (Tip AISI 310LMO), conform ASTM E112. Folosita placa dubla de cereale. Sursa: IIS Laboratory.

Referințe:

[2.4.1] *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels – John C. Lippold and Damian J. Kotecki.*

[2.4.2] *WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals*

[2.4.3] *ASTM E562:2011 – Standard Test Methods for Determining Volume Fraction by Sistematic Manual Point Count.*

[2.4.4] *ASTM E1245:2003 - Standard Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis.*

[2.4.5] *ASTM E112 – Standard Test methods for Determining Average Grain size.*



[2.4.6] *UNI EN ISO 643 – Steels – Micrographic determination of apparent grain size.*

[2.4.7] *UNI EN 10084 – Case hardening steels – Technical delivery condition.*

[2.4.8] *ASTM A519 - Standard Specification for Seamless Carbon and Alloy Steel Mechanical Tubing.*

[2.4.9] *ASTM A304 - Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Bars Subject to End-Quench Hardenability Requirements.*

[2.4.10] *UNI EN 10270 – Steel wire for mechanical spring – patented cold drawn unalloyed spring steel wire.*

2.5. Introducere în microscopia de scanare

Microscopul electronic cu scanare (SEM) permite observarea și caracterizarea materialelor organice și anorganice eterogene la scară nanometrică până la micrometrică. SEM este utilizat pentru a observa și caracteriza caracteristicile de suprafață pe zone mari (sau mici) ale specimenului. În metalografie, SEM oferă informații despre microstructuri, caracterizarea fazelor secundare/intermetalice, mecanismele de defecțiune etc.

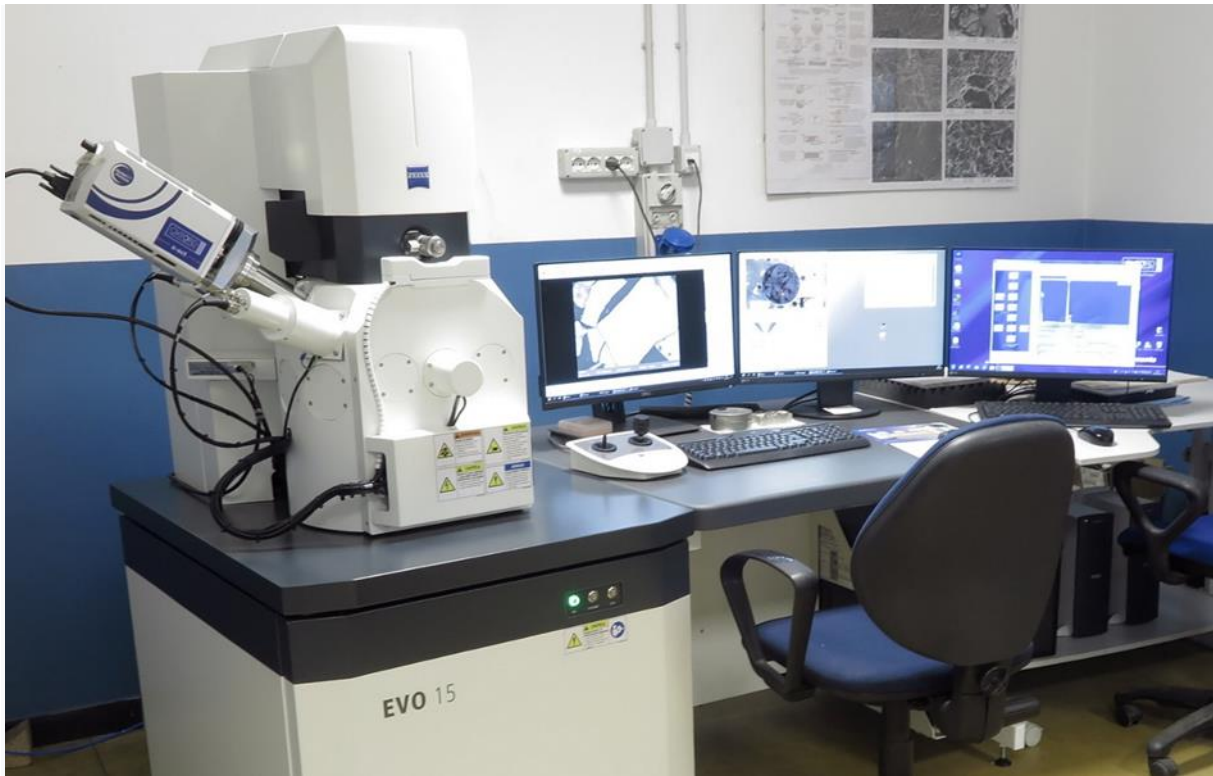


Fig. 2.5.1– vedere de ansamblu a unui microscop electronic cu scanare. Sursa: IIS Laboratory

Un SEM produce imagini ale unei probe prin scanarea suprafeței cu un fascicul focalizat de electroni. Fasciculul de electroni este generat dintr-un catod și este accelerat către probă de o tensiune înaltă (de la 1000 la 30000 V); catodul poate fi fie un catod fierbinte care emite electroni prin efect termoionic (filament de tungsten, hexaborura de lantan LaB₆), fie un catod rece care emite printr-un câmp electrostatic (pistol de emisie de câmp FEG). Când electronii (electronii primari) lovesc suprafața metalică a specimenului, sunt generate următoarele semnale:

- Electronii secundari (SE) generați de interacțiunile inelastice dintre fasciculul de electroni și probă, afectează doar straturile superficiale sau subterane. Acestea permit formarea unei imagini morfologice și topografice a suprafeței probei.
- Electronii retroîmprăștiați (BSD) generați de coliziunile elastice între electroni și atomi, induc modificări în traiectoria electronilor, atomii mari împrăștie mai mulți electroni decât atomii mici, dând un semnal mai mare pe măsură ce numărul atomic (Z) crește. Acest principiu face posibilă obținerea de imagini cu informații calitative ale compozițiilor chimice.



- Fotoni de raze X generați prin interacțiunea electronilor cu atomii. Fiecare foton de raze X este caracterizat de o frecvență (ν) și o lungime de undă (λ) care sunt caracteristice atomului elementului din care a fost generat.

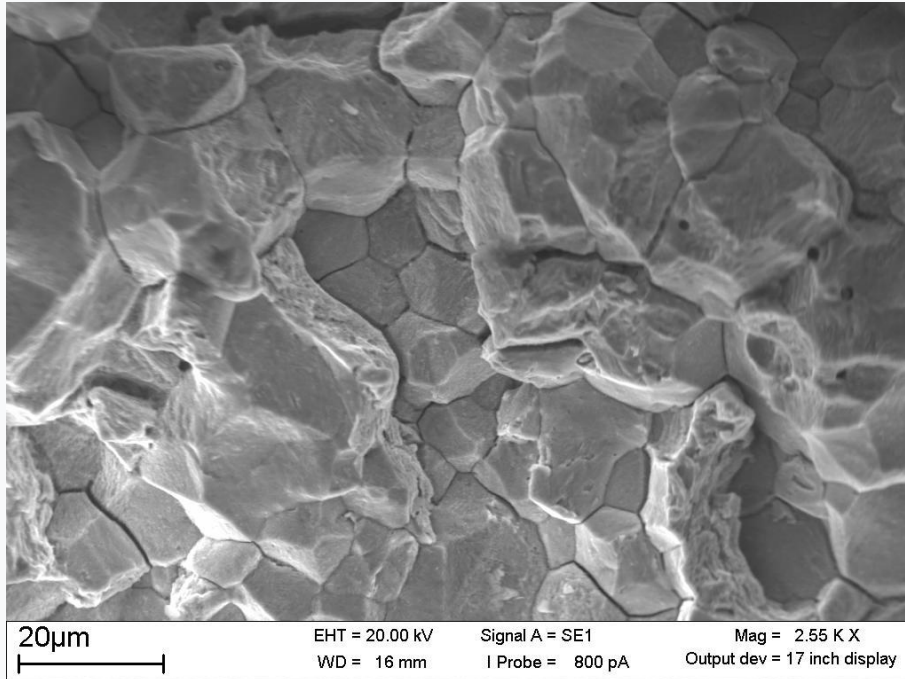


Fig. 2.5.2– detaliu al unei fracturi intergranulare obținute prin SEM cu electroni secundari (SE). Sursa: IIS Laboratory.

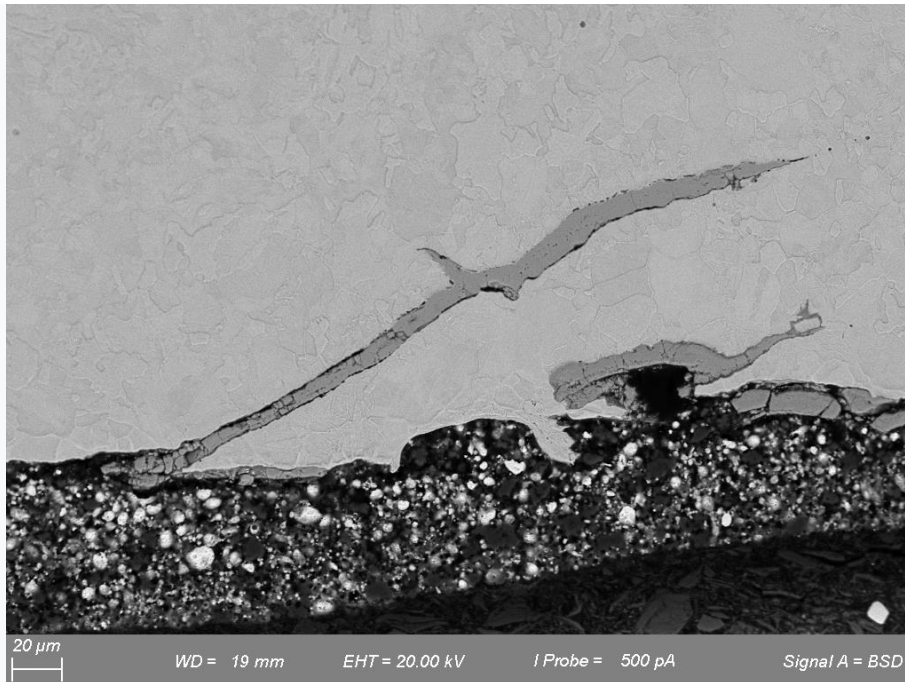


Fig. 2.5.3– detaliu al unei secțiuni micrografice obținute prin SEM cu electroni retrodifuzați (BSD). Sursa: IIS Laboratory.

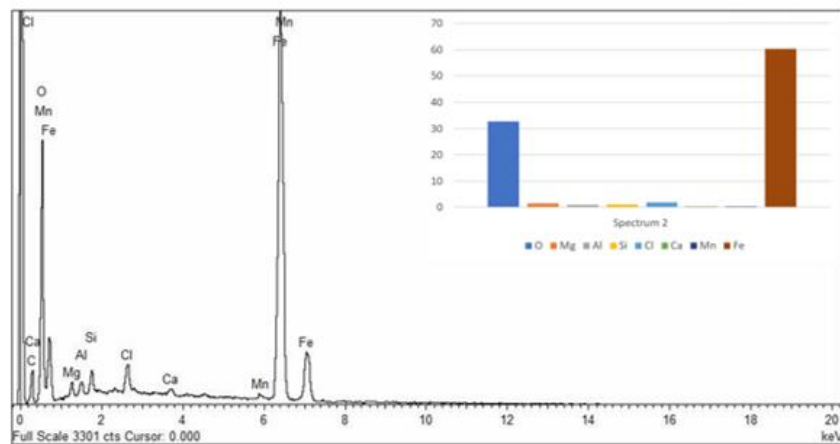
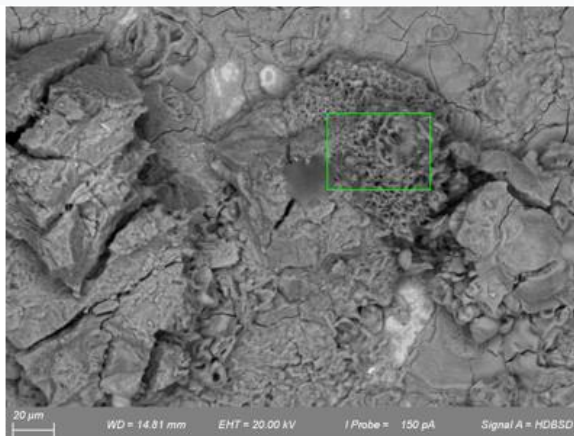


Fig. 2.5.4– exemplu de analiză EDS a depozitelor. Sursa: Laboratorul IIS.

Sondele din SEM captează semnalul și trimit datele către sistemul de achiziție (consola de control) unde sunt procesate pentru a obține imagini tridimensionale și informații despre compoziție.

Avantajele SEM în comparație cu microscopia optică (OM), sunt raportate în următoarele puncte:

- Adâncime mare de câmp (DOF) - imagini 3D cu informații topografice.
- Măriri foarte mari (> 150000x).
- Imagini de înaltă rezoluție (3-10 nm).

Mai mult, instrumentația SEM este adesea echipată cu un sistem EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) care permite analiza compoziției chimice a caracteristicilor care sunt observate pe monitor.

SEM poate fi echipat cu alte tipuri de sonde precum:

- EBSD (Difracție cu dispersie inversă a electronilor)
- SAN (Scanning Auger Nanosondes)
- WDS (Spectroscopie cu raze X cu dispersie în lungime de undă).

2.5.1. Moduri de operare

Cele două componente majore ale unui SEM sunt coloana de electroni și consola de control. Coloana de electroni este formată dintr-un tun de electroni și lentile de electroni, care influențează traseele electronilor care călătoresc pe coloana cu vid. Baza coloanei este de obicei preluată de pompe de vid care produc un vid de aproximativ 10^{-4} Pa. Consola de control constă dintr-un tub catodic (CRT), ecran de vizualizare, butoane și tastatură de computer care controlează fasciculul de electroni.

Tunul de electroni generează electroni și îi accelerează până la o tensiune de accelerație în intervalul 1000-30000 V. Dimensiunea spotului de la un pistol cu filament de wolfram este prea mare pentru a produce o imagine clară, cu excepția cazului în care sunt utilizate lentile de electroni pentru a reduce mărirea, va crea o spot de electroni focalizat mult mai mic pe specimen.

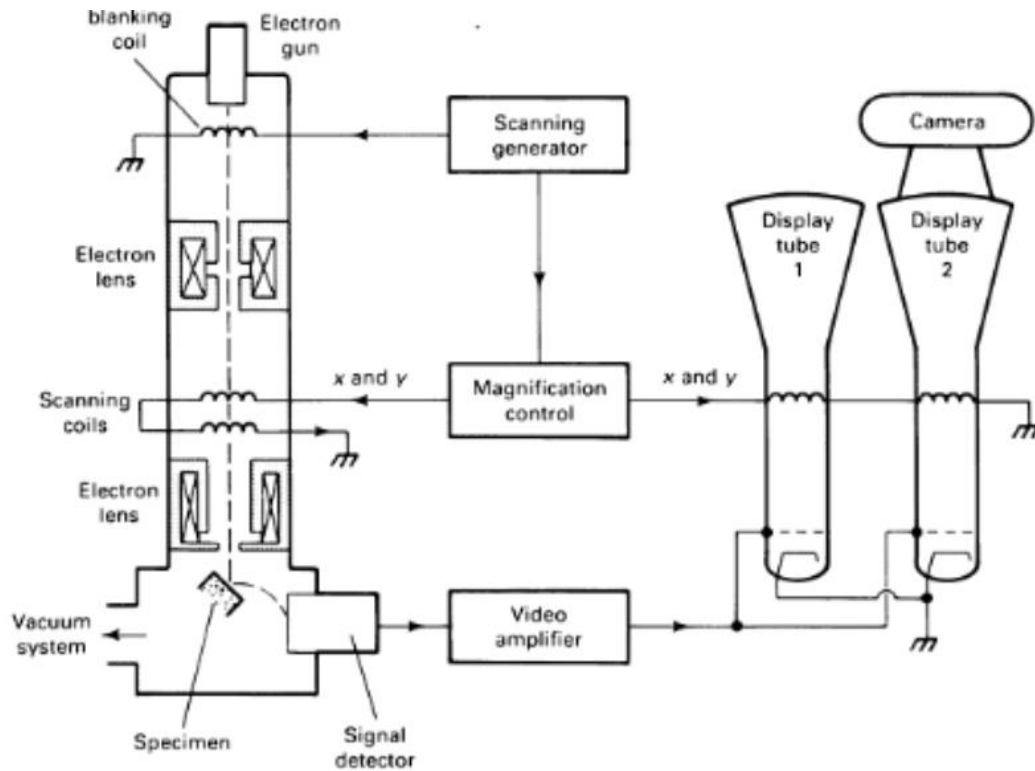


Fig. 2.5.5– Design tipic al microscopului electronic cu scanare. Sursa: [2.5.1] ASM HAN-BOOK
– Volumul 9 – Metalografie și Microstructuri

Imaginea scanată este formată punct cu punct. Sistemul de deviere face ca fasciculul să se deplaseze într-o serie de locații discrete de-a lungul unei linii, apoi de-a lungul unei alte linii care se află sub prima și așa mai departe, până când pe specimen este generat un „raster” dreptunghiular.

În același timp, același generator de scanare creează un raster similar pe ecranul de vizualizare.

Două perechi de bobine de deviere electromagnetică sunt folosite pentru a mătura fasciculul peste specimen.

Prima pereche de bobine deviază fasciculul de pe axa optică a microscopului, iar a doua pereche îndoaie fasciculul înapoi pe axă în punctul de pivotare al scanării. Mărirea M a imaginii este raportul dintre lungimea rasterului de pe ecranul de vizualizare și lungimea corespunzătoare a rasterului de pe specimen. De exemplu, un raster de $100\ \mu\text{m}$ pe specimenul afișat pe un ecran de vizualizare de $10\ \text{cm}$ generează o imagine cu o mărire de $10000\times$.



Când operatorul are nevoie de o creștere a măririi imaginii, bobinele de scanare sunt mai puțin excitate, iar fasciculul se deviază pe o distanță mai mică pe specimen.

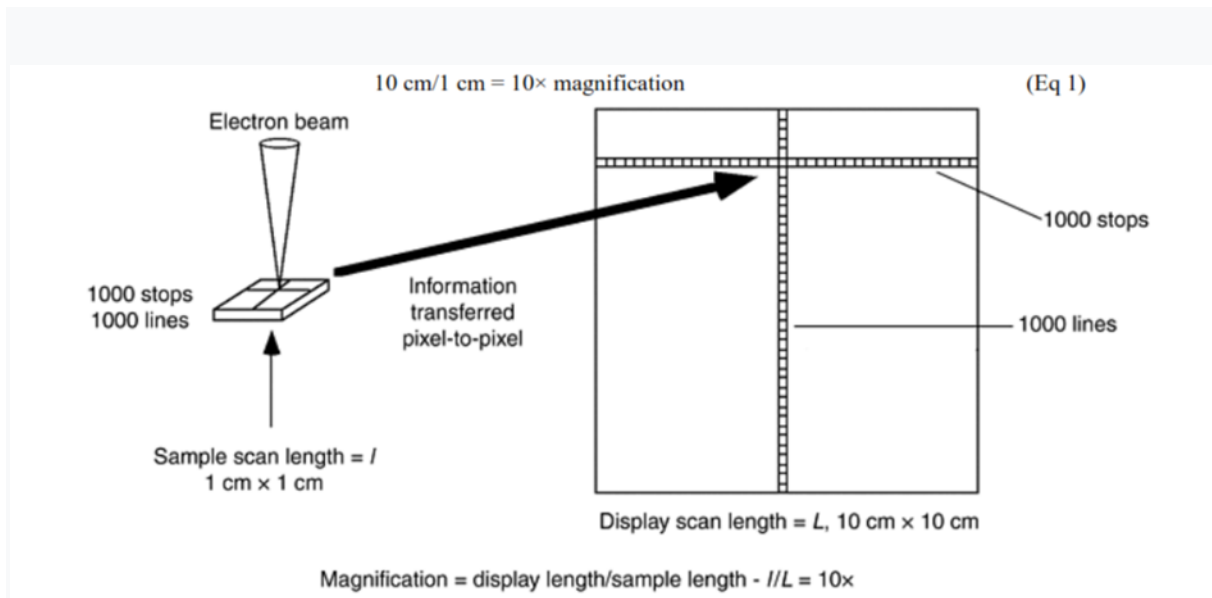


Fig. 2.5.5 – ilustrare a modului în care informațiile obținute dintr-un raster pătrat de pe eșantion sunt transferate pe ecranul de vizualizare pentru a produce o mărire. [2.5.2]

Microscopia electronică cu scanare și microanaliza cu raze X – Ediția a treia – Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer și Jo-seph Michael.

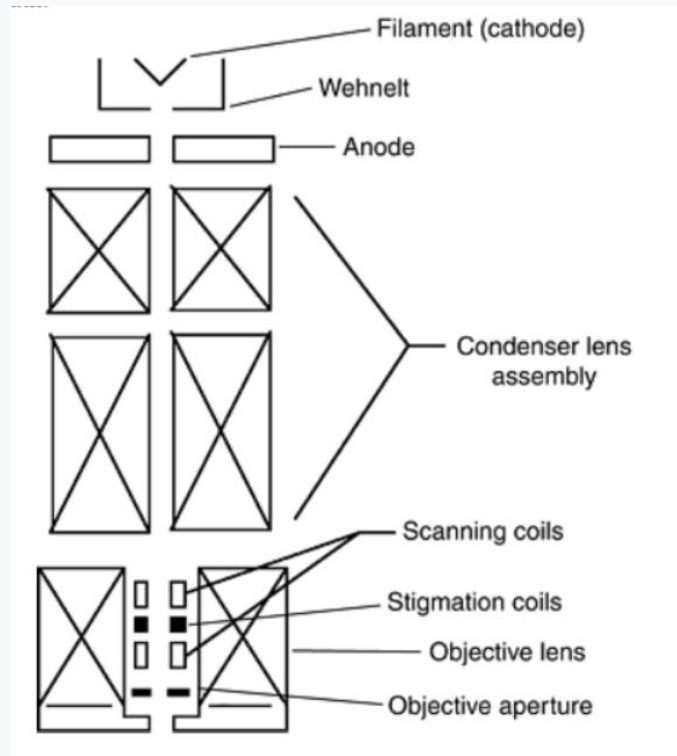


Fig. 2.5.6– schița unui microscop electronic cu scanare tipic. Sursa: [2.5.3] HANBOOK ASM –
Volumul 11 – Analiza și prevenirea defecțiunilor

Cele două semnale cele mai utilizate pentru a produce imagini SEM sunt electronii secundari (SE) și electronii retroîmprăștiați (BSE); ambele semnale sunt colectate atunci când o tensiune pozitivă este aplicată unui ecran de colector în fața detectorului. Electronii capturați de scintilator/fotomultiplicator sunt apoi amplificați pentru afișare.

Pe măsură ce fasciculul de electroni lovește specimenul, ei interacționează ca particule încărcate negativ cu câmpul electric al atomilor specimenului. Sarcina pozitivă a protonilor este concentrată în nucleu, în timp ce sarcina negativă a electronilor atomici este mult mai dispersată într-un fascicul de electroni cu structură înveliș. Interacțiunea dintre fasciculul de electroni și atomi poate devia electronii fasciculului de-a lungul unei noi traiectorii („împrăștiere elastică” fără pierderi de energie cinetică), împrăștieria elastică poate părăsi specimenul (difuzare inversă); probabilitatea împrăștierii elastice crește în corelație cu numărul atomic (Z). Atomii mai grei au o sarcină pozitivă mult mai puternică, energia electronului crește pe măsură ce numărul atomic (Z) scade, aproximativ cu $1/E^2$.

Concomitent cu împrăștieria elastică, fasciculul de electroni pierde energie și o transferă în diferite moduri atomilor specimenului (împrăștiere inelastică), generând semnale de imagistică utile, cum ar fi electronii secundari și semnal de analiză, cum ar fi razele X.

Electronii împrăștiați în spate sunt acei electroni care sunt împrăștiați din specimene și pot fi colectați pe măsură ce fasciculul primar scanează suprafața specimenului. Imaginea de electroni împrăștiați înapoi colectată a suprafeței specimenului este afișată pe un tub cu raze catodice (CRT) și poate fi capturată. Există o anumită pierdere de energie a electronilor în timpul procesului de retrodifuzare. Cu cât numărul atomic al elementelor din probă este mai mare, cu atât este mai mare gradul de retrodifuzare (pierdere de energie mai mică). Aceasta înseamnă că elementele cu numere atomice mai mari, cum ar fi fierul ($Z = 26$), vor apărea mai strălucitoare pe imaginea cu electroni retroîmprăștiați a CRT decât elementele cu numere atomice mai mici, cum ar fi oxigenul ($Z = 8$). Un exemplu de imagine de electroni



retroîmprăștiați a penetrării scării de oxid este prezentat în figura 2.5.5. Oțelul apare ca un constituent gri deschis, iar oxidul apare ca doi constituenți gri mai închis.

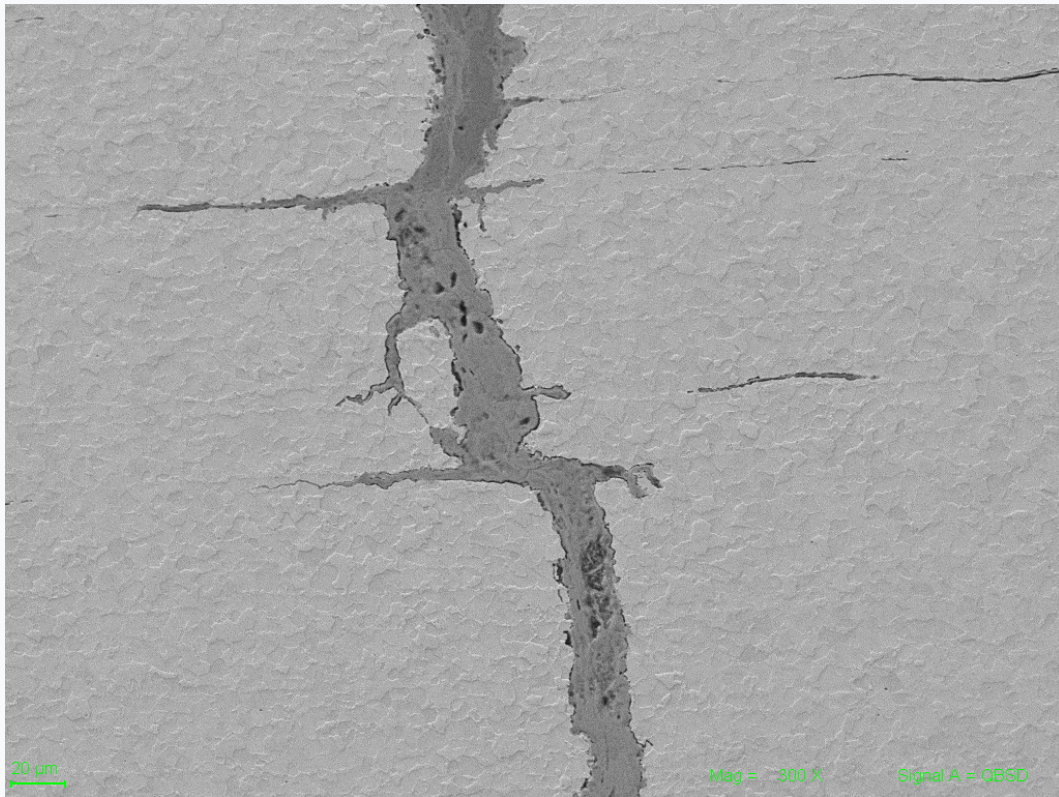


Fig. 2.5.7– detaliu al unei fisuri obținute prin microscopul electronic cu scanare cu semnal BSE. Sursa: IIS Laboratory.

Electronii secundari, pe de altă parte, sunt rezultatele interacțiunii electronilor primari (fascicul) cu acei electroni conținuți în atomii din probă. Electronii primari pot deplasa electronii orbitali strânși din atomi. Acești electroni deplasați se numesc electroni secundari. SE au o energie mult mai mică decât electronii retroîmprăștiați, descriși anterior. Aceasta înseamnă că electronii secundari sunt detectați doar de pe suprafața și regiunile apropiate de suprafață ale specimenului, deoarece cei din regiunile mai profunde sunt ușor absorbiți de eșantion. Astfel, electronii secundari produc o imagine electronică secundară pe tubul cu raze catodice care dezvăluie topografia suprafeței și produce o imagine cu adâncime de câmp sporită.

În această micrografie, incluziunile pot fi văzute în multe dintre golurile de pe suprafața crăpată.

Raze X sunt, de asemenea, emise din probă, din cauza interacțiunii electronilor primari și retroîmprăștiați cu electronii învelișului interior ai atomilor din probă. Electronii

primari/retroîmprăștiați au suficientă energie cinetică pentru a deplasa electronii învelișului interior în afara orbitei. Acolo unde un electron este deplasat dintr-o anumită înveliș interioară de electroni, un foton de raze X este emis atunci când un electron se deplasează în locul său. Aceste raze X au o energie caracteristică (și lungimi de undă) pentru anumiți atomi. Din acest motiv, ele sunt numite raze X caracteristice. Aceasta înseamnă că fiecare rază X care este colectată are o energie și o lungime de undă unică pentru elementul specific prezent în probă. Importanța colectării acestor raze X este că informațiile compoziționale pot fi astfel obținute.

În general, într-un SEM, este analizată doar energia razelor X. Tehnica se numește spectroscopie cu dispersie energetică sau EDS. Intensitatea este reprezentată pe axa verticală, iar energia razelor X este reprezentată pe axa orizontală. Această analiză indică elementele prezente, dar nu dezvăluie distribuția elementelor. Unele SEM-uri pot oferi o hartă cu raze X EDS a elementelor conținute pe suprafața probei.

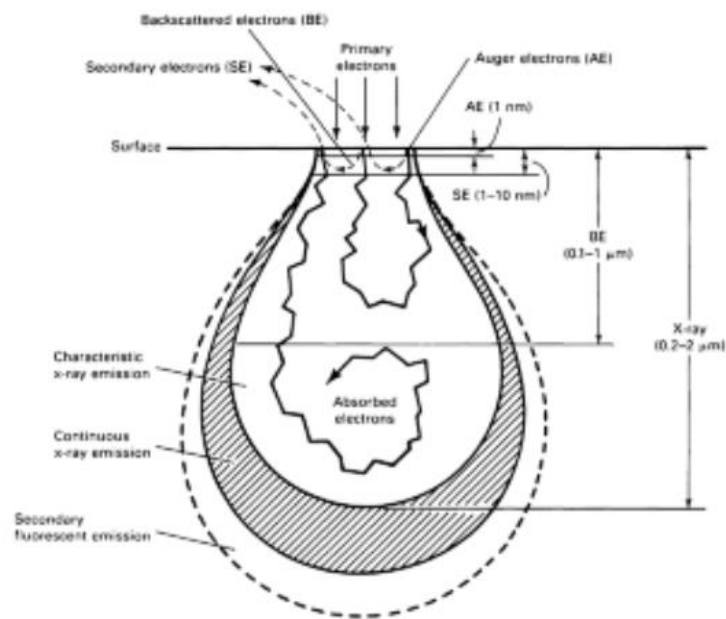


Fig. 2.5.8 – tipuri de electroni ieșiți de fascicul de electroni și radiații utilizate în SEM. Sursa:

[2.5.1] HANBOOK ASM – Volumul 9 – Metalografie și Microstructuri

2.5.2. Forme de contrast

2.5.2.1. Contrastul topografic

Cele mai pronunțate efecte de contrast topografic rezultă din dependența randamentului de electroni secundari și a coeficientului de retrodifuzare de unghiul dintre elementul de suprafață și fasciculul de electroni primar. Contrastul rezultat este analog unei imagini optice în care lumina este generată de la detector, iar direcția de observare este cea a fasciculului de electroni incident. Impresia stereoscopică este sporită de umbre în regiunile ascunse de detector.

2.5.2.2. Contrastul materialului

Contrastul materialului sau contrastul numărului atomic afectează rezultatele din interacțiunea anelastică dintre electronul retroîmprăștiat și atomii din specimen. Contrastul materialului este util pentru identificarea calitativă a fazelor și este adecvat în special pentru evaluarea cantitativă a geometriei microstructurale prin analiza imaginii. Contrastul numărului atomic este de obicei ascuns de contrastul topologic și, pentru electronii secundari, este suficient de puternic doar în cazuri favorabile, cum ar fi suprafețele plane ideale. Contrastul topografic pentru electronii retrodifuzați este mult mai puțin pronunțat decât pentru electronii secundari și poate fi redus semnificativ prin utilizarea detectorilor în formă de inel, chiar dacă suprafața este rugoasă. Efectele marginilor pot rămâne o problemă și, în mod ideal, lustruirea plată este necesară pentru speciunile metalografice în care fazele au o compoziție chimică similară. O diferență a numărului atomic mediu mai mică de 1 este suficientă pentru un contrast material ușor, cel puțin în intervalul inferior al numerelor atomice, unde contrastul este mai pronunțat.

2.5.2.3. Modele de canalizare de electroni

Electronii primari pătrund în rețeaua cristalină la o adâncime care depinde de densitatea de împachetare atomică de-a lungul diferitelor direcții cristalografice. Dacă electronii urmează canalele dintre rândurile de atomi, probabilitatea de evadare a acestora scade. Multe condiții Bragg sunt îndeplinite cu mici variații unghiulare. Balanțarea fasciculului de electroni primar

În jurul unui punct de pe specimen creează linii de difracție dintr-o zonă mică ($< 10 \mu\text{m}$).

Aceste modele de canalizare a electronilor în zonă selectată sunt ca modelele Kikuchi obținute folosind TEM.

Informațiile despre orientarea cristalului, limita granulelor, gemeni și alte caracteristici ale cristalului sunt obținute dintr-un strat de suprafață mai mic de 50 nm în grosime.

2.5.2.4. Contrastul marginilor

La margini, regiunea de evadare a electronilor este deformată și mai mulți electroni secundari și electroni retroîmprăștiați pot ieși din specimen la marginile pozitive prin zona superioară a suprafeței trunchiate; la muchiile negative, randamentul de electroni este redus prin absorbție suplimentară. Acest efect estompează forma exactă a marginilor și poate fi diminuat prin reducerea energiei electronilor primari. Cu toate acestea, contrastul marginilor este uneori avantajos. Marginile pot fi detectate între fațete și faze de luminozitate identică și particule mici. Granițele granulelor apar ca linii întunecate după gravare. Contrastul între faze de duritate diferită poate fi obținut prin producerea de diferite grade de microrugozitate prin lustruire.

2.5.3. Rezoluție și îmbunătățire a contrastului

Fiecare element al SEM are propriile caracteristici în ceea ce privește rezoluția și zgomotul, care determină calitatea imaginii. Operatorul SEM trebuie să cunoască detaliile pentru a optimiza calitatea imaginii pentru un anumit specimen și scopul investigației.

De exemplu, raportul semnal-zgomot al electronilor secundari crește odată cu intensitatea fasciculului de electroni primari, apoi duce la creșterea randamentului de electroni și a timpului de scanare.

Curentul lentilelor condensatorului care controlează dimensiunea spotului, tensiunea de accelerație, distanța de lucru și timpul de scanare pot fi setate de către operator.

2.5.3.1. Imagistica electronică secundară

Rezoluția de adâncime a imaginilor produse în modul SE se datorează volumului mic de la care sunt excitați electronii secundari. Rezoluția unei imagini SE obținută de un microscop cu scanare depinde de lățimea distribuției de energie a electronilor primari care controlează aberația cromatică, aberația lentilei, precizia sistemului de scanare, eficiența detectorilor și

calitatea amplificatoarelor. Alți factori precum vibrațiile de la podea sau sistemul de pompare pot deteriora calitatea imaginii.

Factorii care trebuie optimizați de către operator includ intensitatea (I) și tensiunea de accelerație (EHT) a fasciculului primar, dimensiunea deschiderii finale și distanța acesteia până la suprafața probei (WD), viteza de scanare și înclinarea probei. suprafață. Pentru o adâncime mare de focalizare, care este de obicei necesară pentru suprafețele fracturate la mărime redusă, sunt selectate o deschidere mică și o distanță mare de lucru. Pentru o mărime mai mare, trebuie utilizate o distanță scurtă de lucru și un curent ridicat al lentilei pentru a minimiza dimensiunea spotului.

O dimensiune mică a punctului are ca rezultat emisia unui curent mic de electroni de pe suprafața specimenului, ceea ce reduce raportul semnal-zgomot.

Alegerea optimă a tensiunii de accelerare a fasciculului primar depinde de tipul de eșantion. La tensiuni de accelerație scăzute, fasciculul devine sensibil la contaminare și aberația câmpului tăvii. Cu toate acestea, energia fasciculului mare este mai puțin potrivită pentru a produce contrast topografic la rezoluție înaltă.

De obicei, este necesar să se reducă tensiunea de accelerație pentru a observa speciunile neconductive sau pentru a îmbunătăți rezoluția topografică.

2.5.3.2. Imagistica cu electroni retroîmprăștiați

Rezoluția modului retroîmprăștiat este mult mai mică decât rezoluția modului secundar din cauza lățimii și adâncimii mai mari de evadare a electronilor. Adâncimea informației depinde puternic de tensiunea de accelerație și scade cu numărul atomic sau densitatea.

Imaginile BE de înaltă rezoluție pot fi obținute prin reducerea tensiunii de accelerație; cu toate acestea, adâncimea informațiilor de la suprafețele metalice folosind BE este cu cel puțin un ordin în mărime mai mare decât cea pentru electronul secundar la 5 KeV, iar energia de accelerație trebuie redusă în continuare. Acest lucru necesită detectoare de înaltă eficiență.

2.5.4. Cerințe de specimen

Tehnicile speciale nu sunt de obicei necesare în pregătirea specimenului pentru SEM. Probele de fractură trebuie tăiate la o dimensiune, fără a contamina suprafața, care să se potrivească în camera de specimen a microscopului.

Eșantionul poate fi lipit de un butuc metalic care se potrivește în camera specimenului. De obicei, mai mult de un specimen poate fi plasat în cameră.

Probele metalografice montate sunt, de asemenea, utilizate în SEM, coloranți conductori special pregătiți sunt utilizați pentru a „pune” specimenul metalic la suportul pentru specimen metalic pentru a împământa electric proba. Dacă nu este împământat electric, sarcinile electrice se vor acumula pe suprafața specimenului și vor cauza probleme de imagine. De fapt, pe anumite specimene, cum ar fi aurul, deoarece conductivitatea sa electrică excelentă, se depune pe suprafață prin pulverizare pentru a drena excesul de electroni și a îmbunătăți imaginea secundară. Pulverizarea conductivă este esențială pentru suprafața neconductoare.

Dacă este necesară analiza EDS pentru a analiza calitativ compoziția incluziunilor nemetalice, este important să nu lustruiți specimenul cu substanțe de lustruire de alumina sau silice, deoarece acestea pot contamina specimenul. Un compus de lustruit cu diamant este de obicei mai adecvat, cu excepția cazului în care se analizează pentru carburi.

2.5.5. Analiza EDS

EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy), cunoscută și sub denumirea de analiză cu raze X cu dispersie energetică, este o tehnică analitică utilizată în microscopul electronic cu scanare (SEM) pentru a determina compoziția chimică a probelor. Această tehnică este deosebit de utilă pentru obținerea de informații despre distribuția elementelor în cadrul unui eșantion și pentru identificarea elementelor prezente.

Când electronii fasciculului de electroni de înaltă energie lovesc proba, ei pot elimina electroni de pe orbitele atomilor probei. Această interacțiune creează locuri libere în învelișurile atomice.

Electronii lipsă din învelișurile atomice sunt înlocuiți cu electroni din învelișurile superioare. Când se întâmplă acest lucru, energia este eliberată sub formă de raze X care sunt caracteristice elementelor implicate. Electronii care cad pentru a umple orbitele interioare libere eliberează raze X cu energii specifice pentru fiecare element.

Spectrele de raze X, constând din vârfuri de energie specifică, sunt detectate de un detector de dispersie a energiei. Acest detector măsoară energia razelor X emise de probă după interacțiunea cu fasciculul de electroni.

Fiecare element are un spectru unic de raze X cu vârfuri distincte de energie (propul său vârf de identificare). Picurile de energie măsurate în detector permit identificarea elementelor prezente în probă.

Razele X analizate în SEM au de obicei energii cuprinse între 0,1 și 20 KeV.

Fasciculul de electron incident părăsește atomul pierzând cel puțin E_K , unde E_K este energia de legare a electronului de învelișul K. Electronii orbitali ejectați părăsesc atomul cu o energie cinetică de la câțiva eV până la câțiva KeV, în funcție de interacțiune. Atomul însuși este lăsat într-o stare excitată cu un electron interior lipsă. Atomul revine la starea sa fundamentală (energie cea mai scăzută) în aproximativ 1 ps printr-un set limitat de tranziție permisă a electronului învelișului exterior care umple spațiul liber al învelișului interior. Energiile electronilor din cochilii (nivelurile de energie atomică) sunt definite clar cu valori, caracteristice unui anumit element. Diferența de energie dintre învelișurile de electroni este o valoare specifică sau caracteristică pentru fiecare element.

Excesul de energie poate fi eliberat din atom în timpul relaxării în unul din două moduri. În procesul Auger, diferența de energii de înveliș poate fi transmisă unui alt electron de înveliș exterior, ejectându-l din atom ca un electron cu o energie cinetică specifică. În procesul caracteristic cu raze X, diferența de energie este exprimată ca un foton al radiației electromagnetice care are o energie bine definită.

Electronii unui atom ocupă învelișurile de electroni în jurul atomului care are o energie specifică. În ordinea creșterii distanței față de nucleul atomic, aceste învelișuri sunt desemnate prin K, L, M etc.

Liniile de raze X caracteristice rezultă din tranzițiile dintre subcopii.

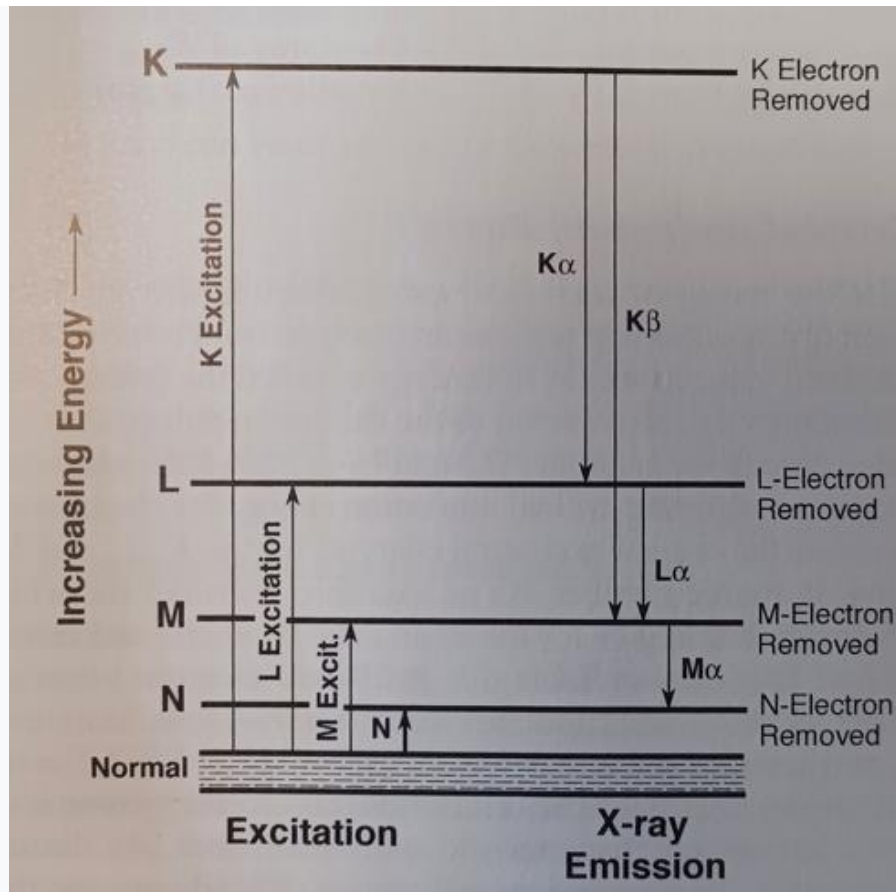


Fig. 2.5.9 – diagrama nivelului de energie pentru un atom. Energia atomului crește la ionizarea învelișului K, L, M sau N (excitație). Sursa: [2.5.2] Microscopia electronică cu scanare și microanaliza cu raze X – Ediția a treia – Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer și Joseph Michael.

Pe lângă identificarea elementelor, EDS poate fi utilizat pentru a mapa distribuția spațială a elementelor din eșantion. Aceasta oferă informații despre compoziția chimică în diferite părți ale probei. În plus, EDS poate oferi informații cantitative despre procentul fiecărui element prezent în eșantion.

În rezumat, EDS într-un microscop electronic de scanare permite identificarea elementelor chimice prezente într-o probă prin analiza spectrelor de raze X emise în timpul interacțiunii fasciculului de electroni cu proba. Această tehnică este valoroasă în metalografie, fracografie și alte tipuri de analize în care înțelegerea compoziției chimice a probelor la nivel microscopic este importantă.

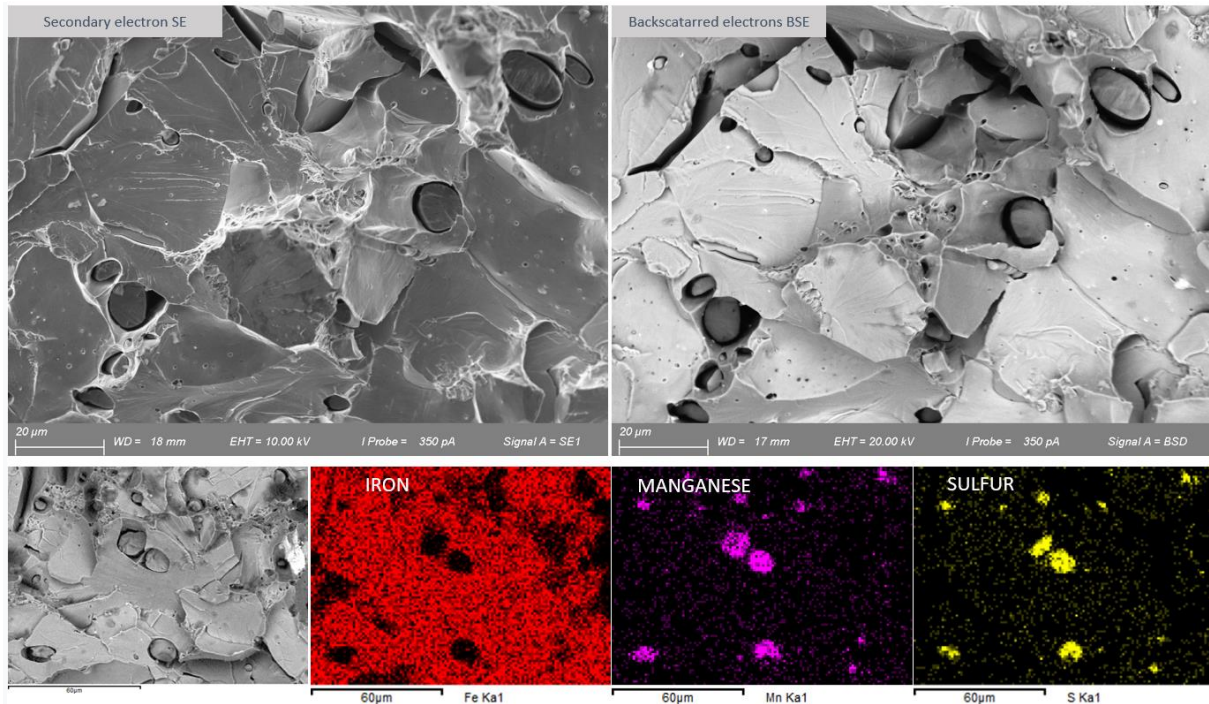


Fig. 2.5.9 – exemplu de cartografiere a elementelor obținute prin EDS. Sursa: IIS Laboratory

Referinte:

[2.5.1] HANBOOK ASM – Volumul 9 – Metalografie și Microstructuri

[2.5.2] Microscopia electronică cu scanare și microanaliza cu raze X – Ediția a treia – Joseph Goldstein. Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer și Joseph Michael.

[2.5.3] HANBOOK ASM – Volumul 11 – Analiza și prevenirea defecțiunilor

2.6. Demonstrarea capacităților microscopului de scanare

2.6.1. Examinarea suprafețelor de fractură

Microscopia electronică de scanare găsește în fractografie una dintre principalele sale utilizări. Suprafețele de fractură sunt caracterizate de morfologie zimțată și, de obicei, ar trebui observate de electroni secundari (SE) pentru a obține informații morfologice și topografice.

O fractura poate fi ductila, fragila, intergranulara sau propagata datorita fenomenelor de oboseala mecanica. Fracturile ductile se caracterizează prin ruperea metalului după deformarea plastică și acumularea internă de energie. Fracturile ductile la tracțiune în majoritatea materialelor au un aspect fibros și sunt clasificate pe o scară macroscopică fie plate

(perpendiculară pe tensiunea maximă de tracțiune), fie forfecare (la aproximativ 45° față de tensiunea maximă de tracțiune). Fracturile ductile apar prin formarea microvidului și coalescență, în literatura tehnică aceste microgoluri se numesc "gropițe".

Examinarea SEM a suprafețelor de fractură ductilă dezvăluie informații despre tipul de stres, direcția de propagare a fisurii și ductilitatea relativă a materialului. Forma gropițelor este determinată de tipul de încărcare pe care componenta a experimentat-o în timpul fracturii. Orientarea gropițelor dezvăluie direcția propagării fisurii. Gropițele echiaxate sunt în formă de cupă și se formează în condiții de deformare plastică uniformă în tensiunea uniaxială (de exemplu, testul de tracțiune). În comparație, gropițele alungite în formă de parabole rezultă din condiții neuniforme de deformare a plasticului (de exemplu, îndoire sau suprasarcină de forfecare).

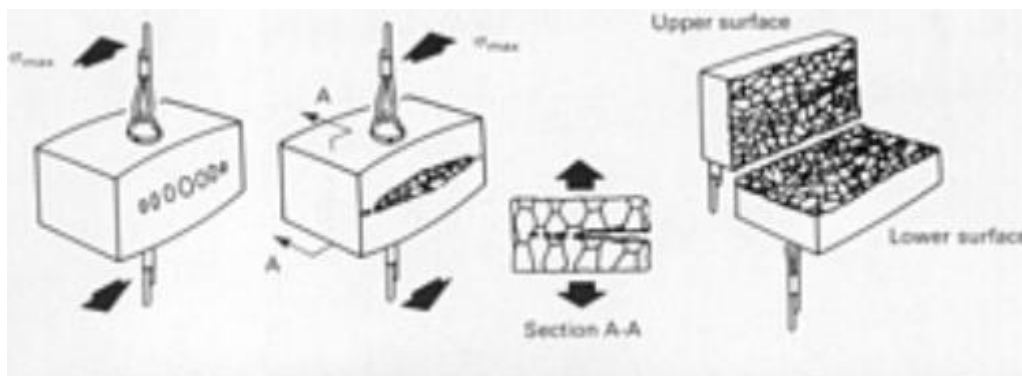


Fig. 2.6.1 – Mecanismul fracturii ductile. Formarea gropițelor.

Sursă: [2.6.2] ASM HANDBOOK – Volume 12 – Fractography

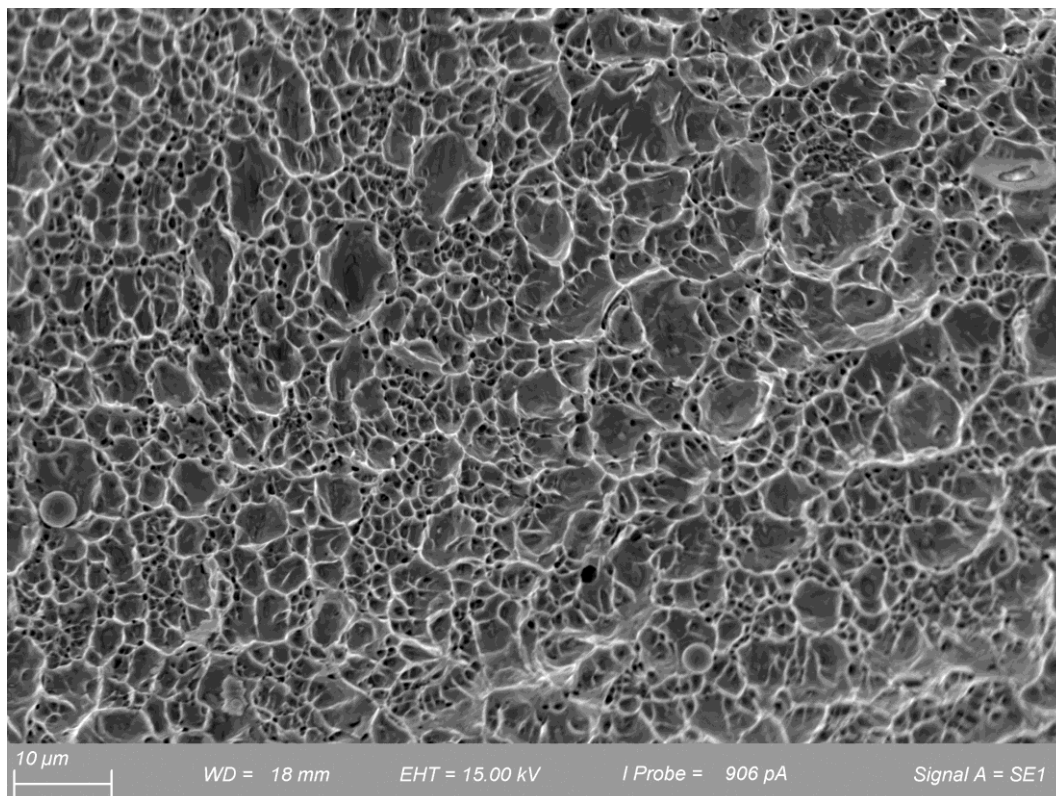


Fig. 2.6.2 – exemplu de suprafață de fractură ductilă observată de SEM (electroni secundari). Sursă: IIS Laboratory.

Fracturile fragile se caracterizează printr-o propagare rapidă a fisurilor, cu o utilizare mai mică a energiei decât în cazul fracturilor ductile și fără deformare plastică. Fracturile fragile au un aspect luminos, granular și nu pot prezenta gât; De obicei, ele au o cale plană și sunt perpendiculare pe direcția solicitării maxime de tracțiune. Un model chevron poate fi prezent pe suprafața fracturii, indicând originea fisurii, în special în fracturile fragile ale componentelor plate. La mărire mare, observarea fracturii fragile de către SEM dezvăluie suprafețe foarte plane cunoscute sub numele de planuri de clivaj.

Clivajul este o fractură de energie scăzută care se propagă de-a lungul unor planuri cristalografice cu indice scăzut bine definite, cunoscute sub numele de planuri de clivaj. O fractură de decolteu ar trebui să aibă fețe perfect de prelucrare și ar trebui să fie complet plată și fără caracteristici. Cu toate acestea, aliajele metalice sunt policristaline și conțin limite de granulație și alte imperfecțiuni care schimbă orientarea rețelei cristaline, cum ar fi posibila nepotrivire a planurilor cu indice scăzut de-a lungul granulelor. Aceste aliaje produc planuri distincte de clivaj.

Modelele de tip râu reprezintă trepte între diferite fațete locale ale clivajului la înălțimi ușor diferite, dar de-a lungul aceluiași plan general de clivaj. Deoarece structura cristalografică locală poate modifica direcția locală de propagare a fisurii, direcția generală este atribuită numai după confirmarea orientării modelelor de tip râu în mai multe zone de pe suprafața fracturii.

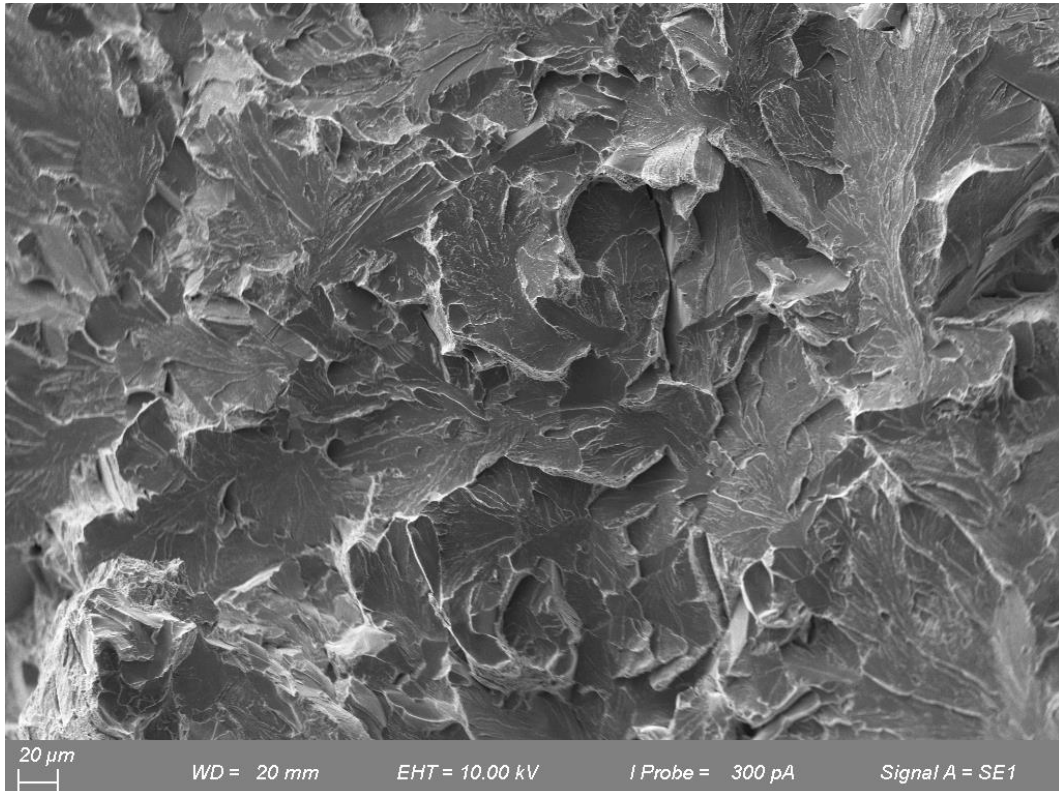


Fig. 2.6.3 – Exemplu de suprafață de fractură fragilă observată de SEM (electroni secundari). Sursă: IIS Laboratory.

Fractura fragilă inter-granulară, denumită de-coeziune a limitelor granulelor, este favorizată de efectul sinergic al condițiilor de mediu și al solicitării de tracțiune sau este rezultatul prezenței constituenților punctului de topire cel mai scăzut la limitele granulelor. Este ușor de recunoscut fractura inter-granulară, dar identificarea cauzelor fracturii este mai complexă. Procesul de-coeziv care implică slăbirea legăturilor atomice, reducerea energiei de suprafață necesare pentru deformarea localizată, presiunea gazului molecular, epuizarea filmelor protectoare și dizolvarea anodică la locurile active este asociat cu fragilizarea hidrogenului și fisurarea coroziunii de stres (SCC).

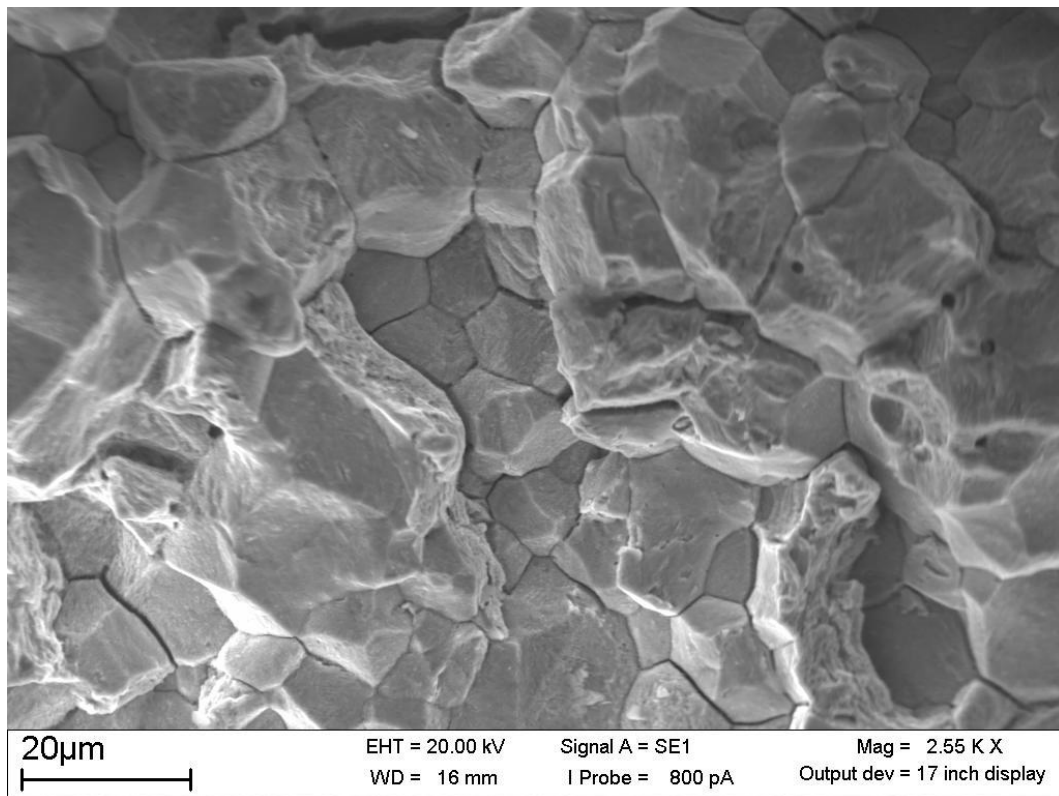


Fig. 2.6.4 – Exemplu de suprafață de fractură intergranulară observată de SEM (electroni secundari). Sursă: IIS Laboratory.

Oboseala este un mecanism dependent de timp care poate fi separat în trei etape care prezintă caracteristici diferite:

Etapa I: inițierea fisurii sau nucleația fisurii.

Etapa II: propagarea fisurilor.

Etapa III: fractură finală prin suprasarcină.

Stadiul I este un punct (sau puncte) care se află de obicei la suprafață, unde deformarea ciclică este cea mai mare sau unde defectele materiale sau tensiunile reziduale diminuează rezistența la oboseală a componentei. Fisura se inițiază de obicei într-o zonă mică și se propagă prin fractură de linie de alunecare, extinzându-se spre interior de la suprafață la 45° până la axa de stres.

Localizarea originii este definită prin interpretarea caracteristicilor zonei de propagare a fisurilor din stadiul II. Marcajele macroscopice ale plajelor radiază departe de origine în semicercuri concentrice. Acestea sunt semnul de progresie asociat frecvent cu oboseala. Când

zona de propagare este examinată de SEM la mărire mai mare ($> 5000x$), marcajele plajei pot fi rezolvate în sute sau mii de striții de oboseală.

Strițiile sunt caracteristice reciproc paralele și în unghi drept față de direcția locală de propagare a fisurilor. Acestea variază în ceea ce privește distanța dintre striții și striții cu intensitatea stresului ciclic, sunt egale în număr cu numărul de cicluri de încărcare. De asemenea, striurile de oboseală nu se intersectează, ci se pot uni și pot forma o nouă zonă de propagare locală a fisurilor.

În cazul în care componenta a fost supusă unor sarcini aplicate uniform de o mărime suficientă, un singur avans al frontului fisurii (distanța dintre două striuri adiacente este o măsură a vitezei de propagare pe ciclu de tensiune). Cu toate acestea, dacă încărcarea este neuniformă, există variații mari între o serie dată de cicluri de stres și distanța dintre striții, deși un ciclu de stres nu prezintă striții.

În ciuda prezenței strițiilor care indică oboseala ca mod de eșec, absența lor nu elimină oboseala ca posibilitate. De exemplu, striția la oboseală este bine definită în aliajele de aluminiu, dar este adesea slab definită în aliajele feroase; În plus, oxidarea, coroziunea sau deteriorarea mecanică pot elimina strițiile.



Fig. 2.6.5 – Exemplu de arbore din aliaj de nichel fracturat de fenomene de oboseală. Sursă: IIS Laboratory.

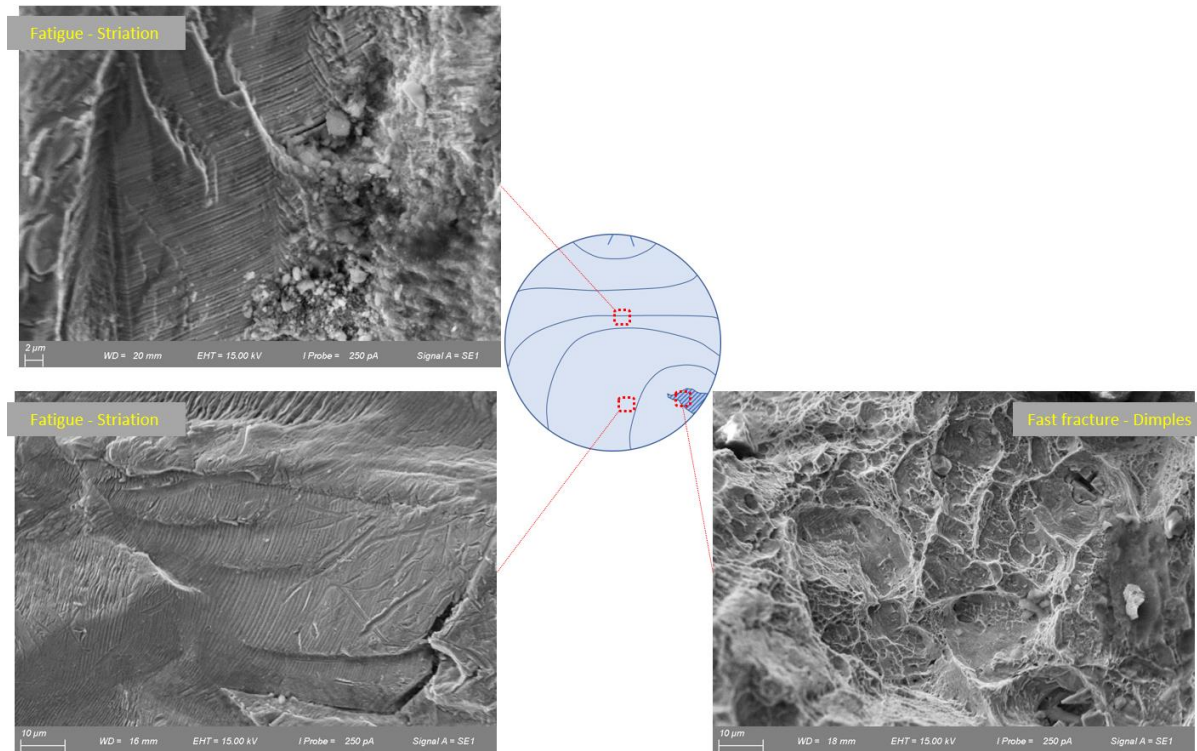


Fig. 2.6.6 – Detalii ale suprafeței de fractură în zona de propagare cu striatii și fractura rapidă finală cu mecanism ductil (gropite). Sursă: IIS Laboratory.

2.6.2. SEM aplicat la analiza defecțiunilor aliajelor metalice și a îmbinărilor lor de sudură

Conform paragrafului anterior, este ușor de înțeles de ce SEM este atât de important pentru studiul mecanismelor de deteriorare. Pe lângă analiza morfologiei fracturii, permite analiza fazelor, compușilor intermetalici, depunerilor/produșilor de coroziune și efectuarea de analize chimice punctuale prin sonda EDS. Câteva cazuri practice sunt prezentate mai jos.

Exemplul 1:

Investigarea unei fisuri observate în metalul de sudură al îmbinării sudate diferite între oțelul carbon și oțelul inoxidabil super-duplex a efectuat adoptarea unui metal de umplere din aliaj Ni-base (Inconel 625) și a unui proces de sudare SAW.

Imaginile ESB (Back Scattered Electron) au evidențiat prezența unei faze albe lamelare (eutectice), localizată în corespondență cu suprafețele fisurilor și vârfurile fisurilor (vezi fotografiile 2.6.7).

Microanaliza calitativă EDS a arătat că acești compuși constau din faze intermetalice bogate în Nb / Mo. Acești compuși se caracterizează printr-un punct de topire scăzut.

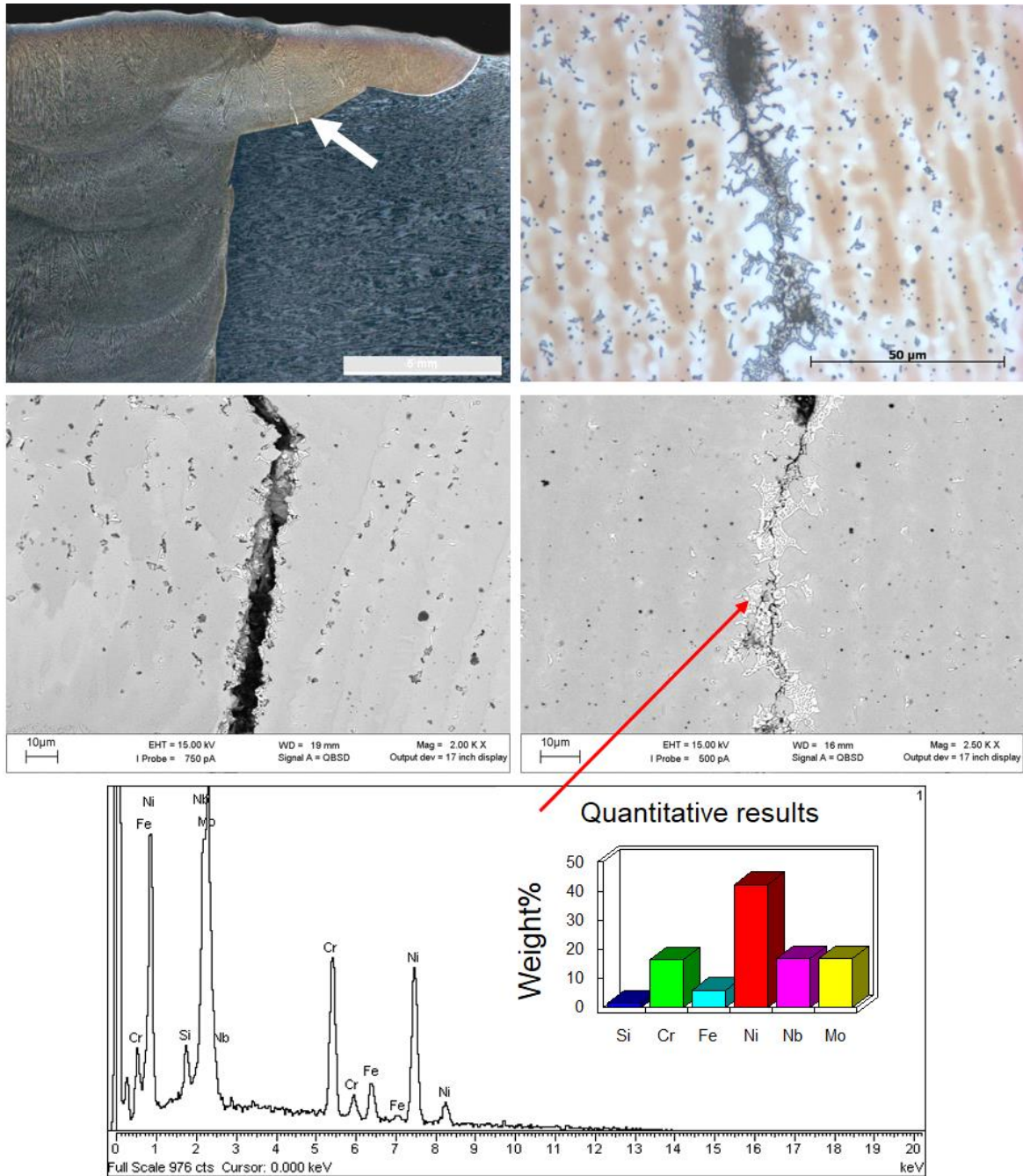


Fig. 2.6.7 – Crăpătură la cald observată în metalul de sudură al îmbinării sudate diferite între oțelul carbon și oțelul inoxidabil super-duplex a efectuat adoptarea unui metal de umplere din aliaj Ni-base. Sursa: Laboratorul IIS.

Exemplul 2:

Investigarea unei fisuri observate în apropierea unei îmbinări de lipire a unei componente din aliaj de nichel tip Incoloy 800. Aliajul de lipire a fost aliaj CuAgZn.

Investigația SEM efectuată pe o secțiune micrografică a arătat fisurile intergranulare. Analizele EDS efectuate în interiorul fisurilor au relevat în principal cupru, argint și zinc, atribuite aliajului de lipire. Mecanismul de eșec s-a datorat fragilității metalelor lichide (LME).

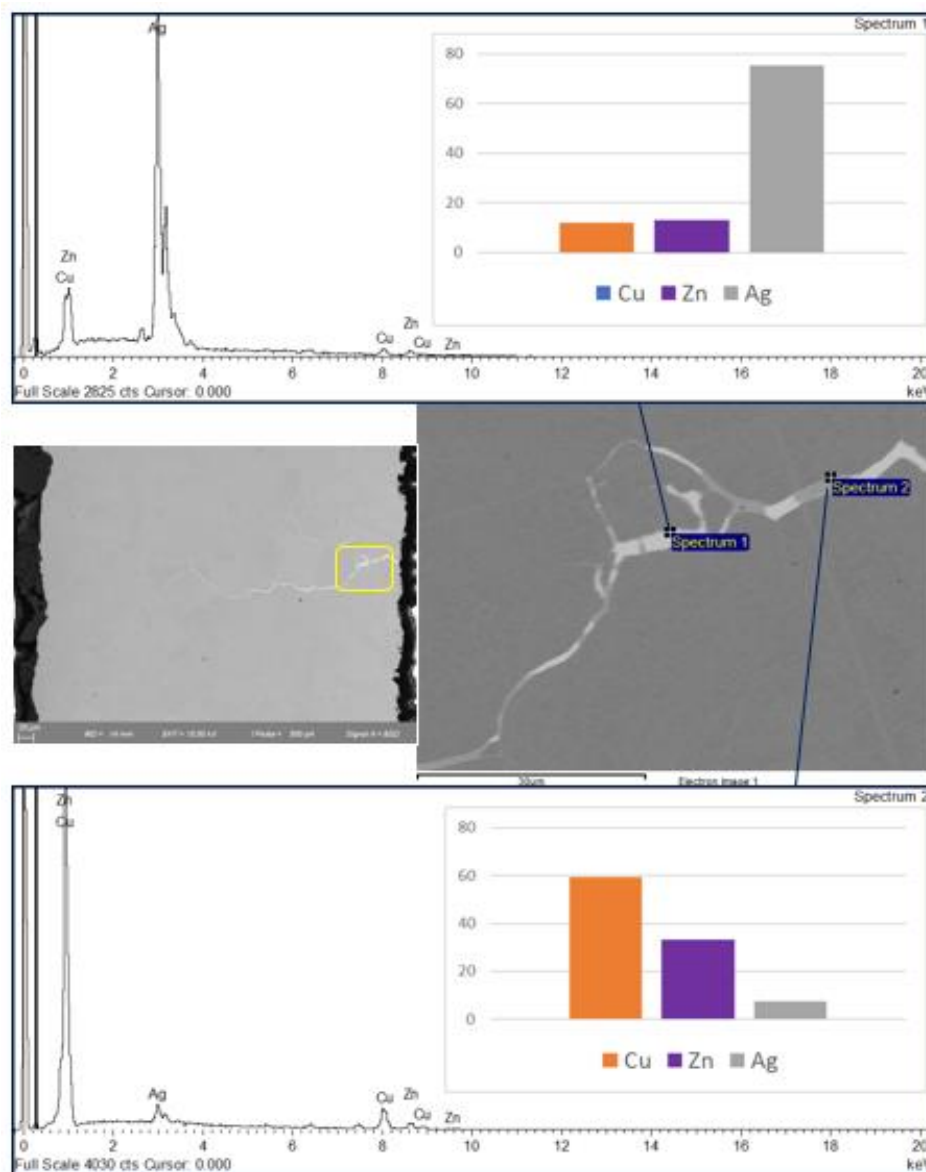


Fig. 2.6.8 – LME observată într-o componentă brazată – Sursă: IIS Laboratory.

Exemplul 3:

Investigarea unei fracturi a avut loc pe un tub schimbător de căldură din aliaj de oțel inoxidabil austenitic tip AISI 316L.

Examinarea micrografică a relevat o rețea de fisuri trans-granulare și ramificate pe întreaga secțiune investigată. Analizele SEM și EDS au detectat clor și alte elemente care pot fi atribuite materialului de bază. Mecanismul de defecțiune s-a datorat crăpării coroziunii de stres la clor (Cl-SCC).

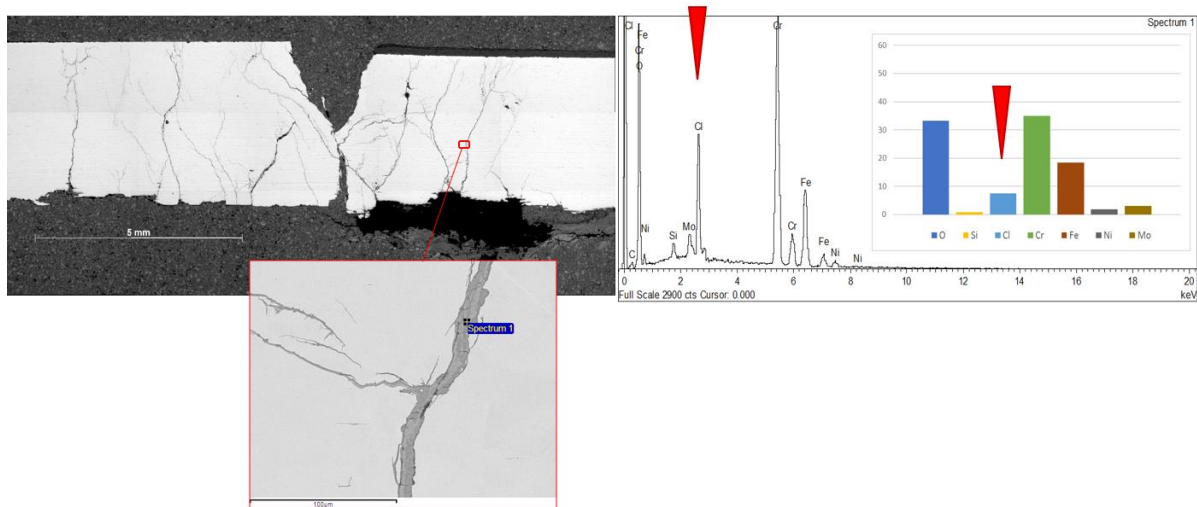


Fig. 2.6.9 – Coroziunea selectivă a unui oțel inoxidabil duplex în mediu alcalin. Sursă: IIS Laboratory.

Exemplul 4:

Investigarea fenomenelor de coroziune observate la o îmbinare de sudură duplex din oțel inoxidabil. Atât examinarea micrografică, cât și cea fractografică, efectuată de SEM, au arătat o coroziune selectivă a fazelor austenitei în zona duplex afectată de căldură. Acest fenomen este tipic pentru un mediu alcalin.

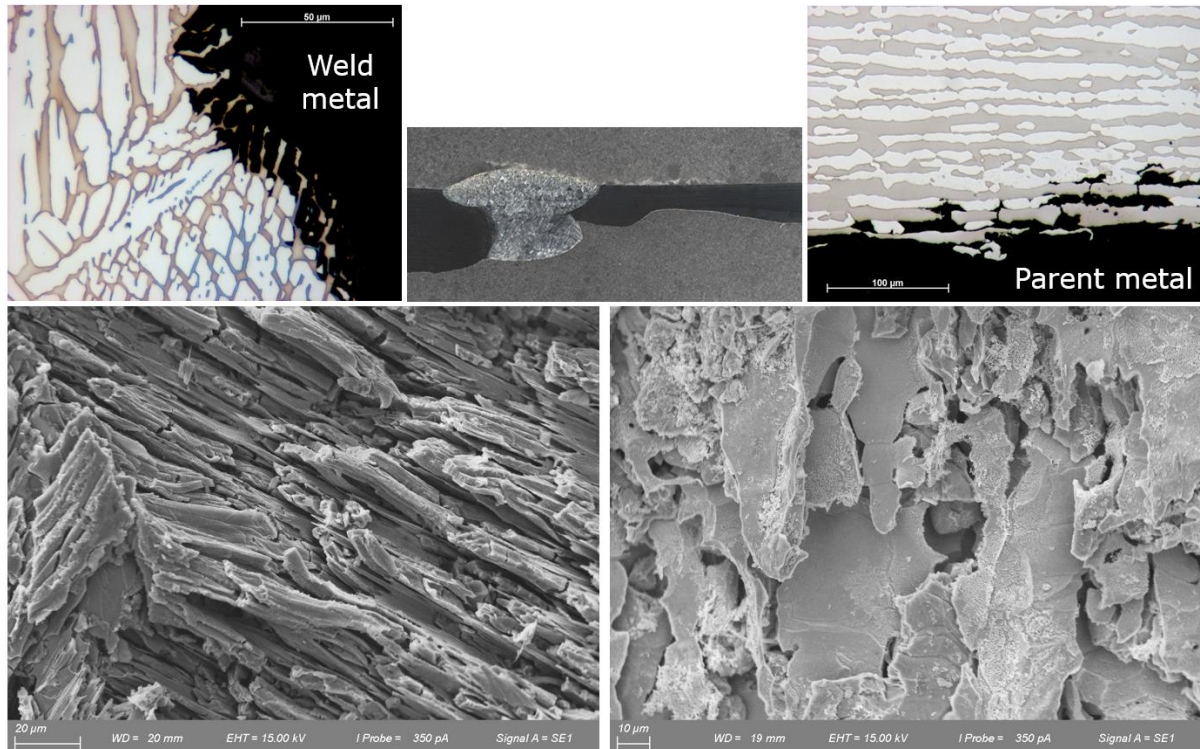


Fig. 2.6.10 – Coroziunea selectivă a unui oțel inoxidabil duplex în mediu alcalin. Sursă: IIS Laboratory.

Exemplul 5:

Investigarea unui eșantion prelevat dintr-o "carcasă de admisie" a unei turbine, afectată de numeroase fisuri.

Carcasa a fost fabricată din oțel inoxidabil austenitic tip AISI 304 H.

Turbina a fost supusă unor cicluri termice severe, cu numeroase porniri și opriri.

Temperatura debitului de intrare a fost de aproximativ 800 °C; Aburul a fost injectat în interior din tuburile situate în conul central, cu scopul dublu de a preîncălzi carcasa înainte de pornire și de a o răci în timpul funcționării. Temperatura de funcționare trebuia să fie sub 732 °C

aburul este injectat cu un debit de aproximativ 45 Kg/oră, dar pentru unele perioade a ajuns la aproximativ 800 Kg/oră.

Examinările micrografice au arătat fisuri cu un model ramificat și intergranular, caracterizat prin prezența depozitelor în interiorul lor. Analizele EDS ale zăcămintelor au relevat elemente atribuite materialului de bază și cantități variabile de sulf.

Fenomenele de coroziune apărute au fost atribuite fisurării coroziunii cauzate de acizii politionici (Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking - PASCC). Sulfurile pot reacționa cu umiditatea prezentă în abur și pot forma acizii politionici (H_2SnO_6). PASCC apare de obicei în timpul perioadelor de oprire sau în timpul funcționării, dacă condensul este prezent în abur. Granulația sensibilizată a oțelului inoxidabil austenitic oferă, de asemenea, un punct slab preferențial care favorizează dezvoltarea fenomenului.

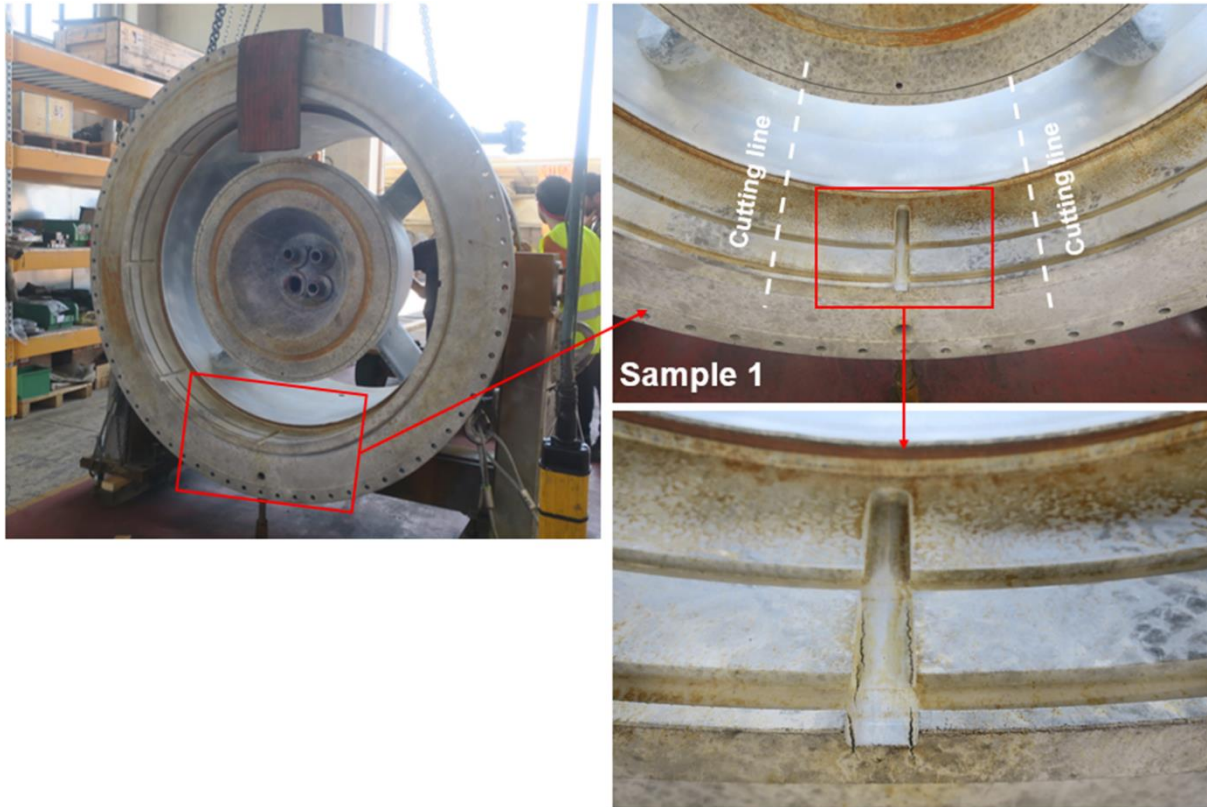


Fig. 2.6.11 – detalii privind carcasa de admisie a unei turbine fabricate din oțel inoxidabil austenitic tip
AISI 304H. Sursă: IIS Laboratory.

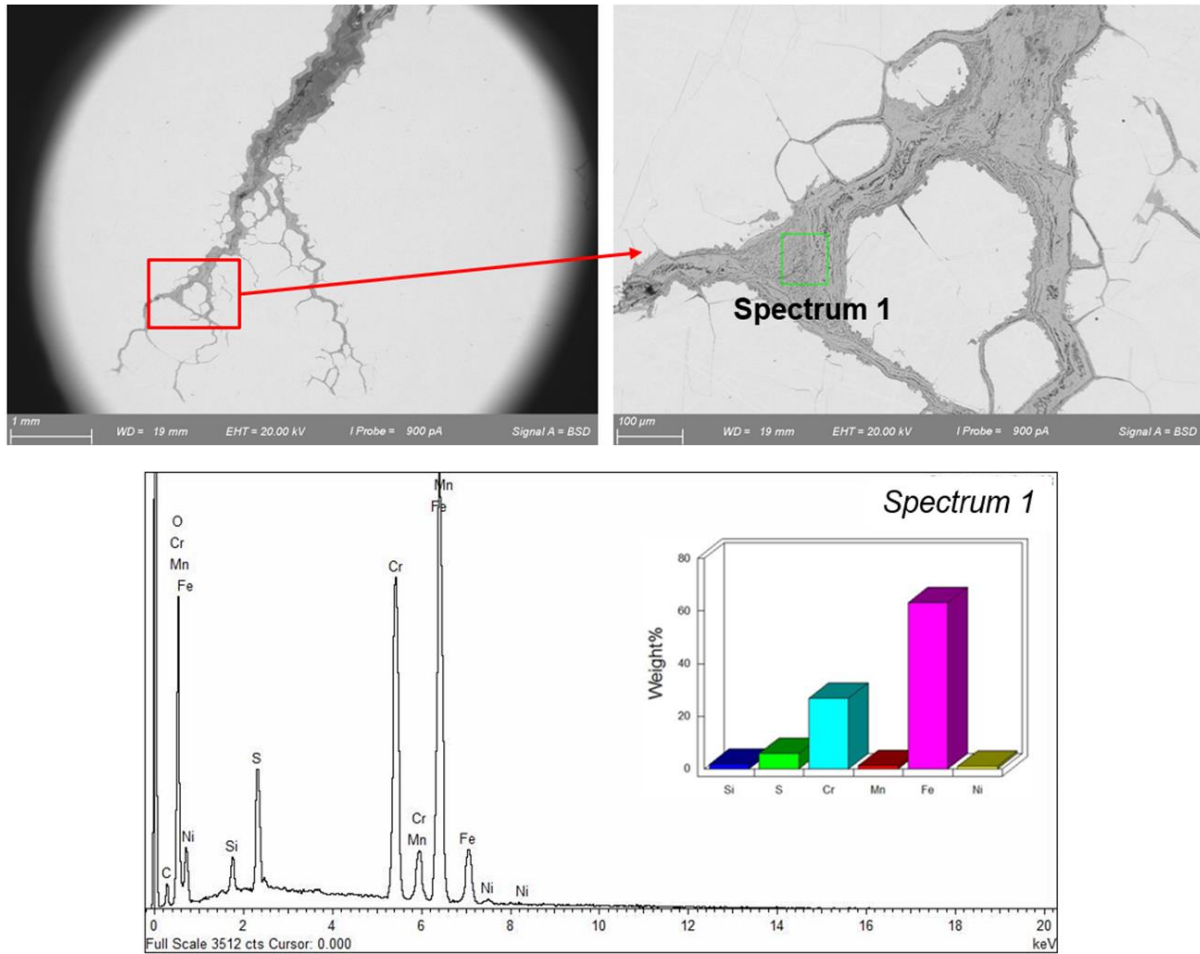


Fig. 2.6.12 – detalii ale secțiunii micrografice preluate din carcasa de admisie la unele fisuri observate de microscopul electronic cu scanare. Analiza EDS arată prezența elementelor care pot fi atribuite metalului comun și sulfului. Sursă: IIS Laboratory.

Referințe:

[2.6.1] ASM HANDBOOK – Volume 9 – Metallography and Microstructures

[2.6.2] ASM HANDBOOK – Volume 12 – Fractography

[2.6.3] ADM HANDBOOK – Volume 11 – Failure analysis and prevention

[2.6.4] Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis – Third edition – Joseph Goldstein, Dale Newbury, David Joy, Charles Lyman, Patrick Echlin, Eric Lifshin, Linda Sawyer, and Joseph Michael.



3. CU3: Demonstrații în examinarea macro și microscopică

3.6. Demonstrarea evaluării probelor macroscopice ale articulațiilor 1

3.6.2. Considerații generale

Pregătirea probelor metalografice

3.6.3. Analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite

3.6.4. Analiza macroscopică a materialelor metalice pe suprafețe nepregătite permite examinarea și evaluarea acestor caracteristici structurale

3.6.5. Analiza macroscopică pe suprafețe pregătite

Pregătirea probelor metalografice

Pregătirea probelor – Operațiuni

Analiza macroscopică

Aspecte ale îmbinărilor sudate

Echipamente, materiale și procedură de lucru

3.6.6. Examinarea macroscopică a materialelor metalice pe suprafețe pregătite

3.6.7. Întrebări

3.1. Demonstrarea evaluării probelor macroscopice de articulații

3.1.1. Considerații generale

Metalografia este o parte a metalurgiei fizice care se ocupă cu studiul macrostructurii și microstructurii materialelor metalice.

Analiza macroscopică reprezintă o metodă rapidă și simplă de cercetare a materialelor. Aceasta presupune examinarea suprafețelor mari, evidențierea defectelor locale sau generale, detaliile fiind trecute cu vederea. Este cea mai simplă și rapidă metodă de cercetare a metalelor și aliajelor metalice. De obicei, precede orice analiză structurală și constă în observarea vizuală cu ochiul liber sau la o mărire maximă de 50: 1 pentru probele examinate.

Prin analiza macroscopică, pot fi dezvăluite aspecte legate de solidificarea materialelor metalice (dendrite, cavități de contracție, fisuri etc.), fracturile acestora, neomogenitățile mecanice și structurale, precum și structura îmbinărilor sudate. Se efectuează direct pe aspectul exterior al probei (materialului) fără pregătire prealabilă sau pe suprafețe rezultate din fracturi (carcase), fie nepreparate, fie preparate prin măcinare și gravare chimică. Indiferent de tipul analizei macroscopice, executarea acesteia presupune o serie de operații: selectarea locației de prelevare și obținerea probei, secționarea, măcinarea și, dacă este cazul, gravarea chimică.

Pregătirea probelor metalografice

Pregătirea probelor metalografice constă în trei etape:

Eșantionarea (*extragerea eșantioanelor*) - Locul de prelevare a probelor trebuie ales astfel încât eșantionul să fie reprezentativ pentru materialul studiat. Deoarece nu există o regulă generală pentru alegerea acestei locații, aceasta va depinde de natura, forma și dimensiunea specimenului, precum și de tratamentele mecanice sau termice la care a fost supus materialul. Instrucțiuni privind modul de prelevare și pregătire a probelor metalografice sunt furnizate în ISO/TR 20580:2022 "Pregătirea probelor metalografice".

Pregătirea suprafeței de examinare - Suprafața pregătită a eșantioanelor trebuie să fie plană și fără urme de impact, zgârieturi sau corpuri străine introduse în timpul procesului de preparare. Cele trei etape ale pregătirii suprafeței sunt:

nivelare - realizată prin șlefuire sau lustruire. Dacă eșantionul a fost tăiat cu ajutorul mașinilor-unelte sau al unui ferăstrău manual, este posibil ca această etapă să nu fie necesară. Trebuie avut grijă să se evite supraîncălzirea și deformarea suprafeței.

măcinare - se realizează folosind materiale abrazive (hârtii abrazive) cu granulație abrazivă din ce în ce mai fină. Măcinarea probelor se poate face manual sau automat.

Lustruire - are ca scop îndepărtarea ultimelor zgârieturi foarte fine și crearea unei străluciri perfecte pe suprafața pregătită. Această operație poate fi efectuată folosind mașini mecanice de rectificat sau printr-un proces electrolitic.

Gravura metalografică - În funcție de materialul eșantionului, se utilizează o mare varietate de gravuri metalografice. Când acestea întâlnesc suprafața lustruită a eșantionului, ele dizolvă sau colorează diferit constituenții structurali, dezvăluind structura. Gravarea se poate face prin imersarea piesei în gravură sau prin tamponarea cu vată, înmuiată în gravură. În mod normal, eșantionul este considerat gravat atunci când și-a pierdut luciul metalic. După dezvăluirea structurii prin gravare, probele sunt spălate cu apă, apoi cu alcool și uscate prin ștergere ușoară pe hârtie de filtru sau într-un curent de aer cald.

3.1.2. Analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite

Aceasta se referă la examinarea și analiza materialelor la nivel macroscopic fără nicio pregătire prealabilă a suprafeței. În această abordare, suprafața materialului este observată și evaluată în starea sa naturală sau găsită, fără lustruire, măcinare sau gravare chimică.

Analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite poate oferi informații valoroase despre starea generală, defectele și caracteristicile unui material. Acesta permite o evaluare rapidă a proprietăților și caracteristicilor materialelor fără a fi necesară pregătirea extensivă a probelor.

Această metodă este utilă în special atunci când este necesară o evaluare rapidă sau când caracteristicile și defectele externe ale materialului trebuie studiate fără a-i modifica starea

naturală. Cu toate acestea, poate avea limitări în dezvăluirea detaliilor structurale fine în comparație cu tehnicile de microscopie mai avansate care implică pregătirea probei.

Pe scurt, analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite este un instrument valoros în analiza materialelor, oferind o modalitate simplă de a evalua starea și caracteristicile materialelor fără a fi nevoie de pregătirea extensivă a probelor.

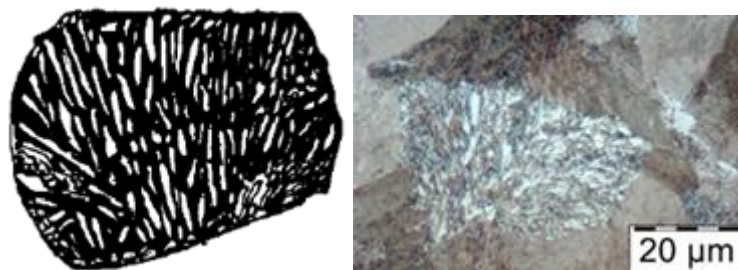


Figura 3.1.1. Eșantion de oțel recoapte. Sursă: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Oțelurile carburite și călite au o structură cu granulație mai fină la exterior decât în regiunea centrală a secțiunii, iar nuanța de gri variază de la exterior la interior (figura 2).

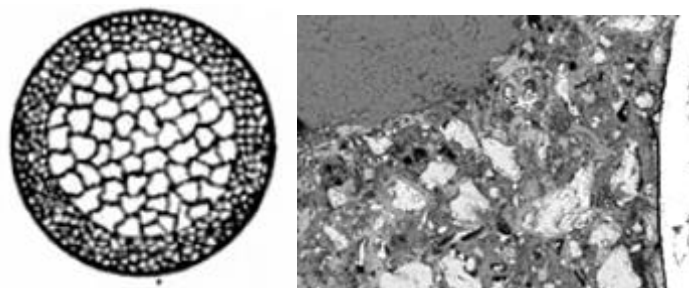


Figura 3.1.2. Eșantion de oțel carburizat. Sursă: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Culoarea pieselor care s-au fracturat în timpul utilizării poate indica cauza fracturii. Dacă într-o zonă culoarea este mai închisă decât restul suprafeței, aceasta sugerează prezența unei fisuri preexistente înainte de fractura finală.

Formarea și apariția unei suprafețe crăpate oferă informații despre cauzele fracturii și tipul de stres care a condus la aceasta. O suprafață de fractură sub formă de con și cupă în vecinătatea gâtului indică fisuri ductile, în timp ce o suprafață de fractură fără deformări de gât sugerează fisuri fragile. Propagările la oboseală sunt recunoscute după aspectul lor specific pe suprafața fracturii (Figura 3). Sub influența solicitărilor dinamice variabile, se formează mici fisuri și se propagă de la exterior la interior, rareori în direcția opusă, reducând secțiunea transversală portantă, ducând în cele din urmă la defectarea bruscă a materialului. Regiunea în care se propagă treptat fisura are un aspect neted și strălucitor (datorită frecării suprafețelor de contact), iar zona finală de fractură apare granulată. Crăpăturile timpurii pot proveni din imperfecțiunile suprafeței (zgârieturi, caneluri, tranziții abrupte ale secțiunii etc.), care acționează ca concentratoare de stres.



Figura 3.1.3. Suprafața fracturii de oboseală. Sursă: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Prin fracturarea unui lingou metalic intergranular, suprafața rezultată poate dezvălui cele trei zone formate în timpul cristalizării primare.

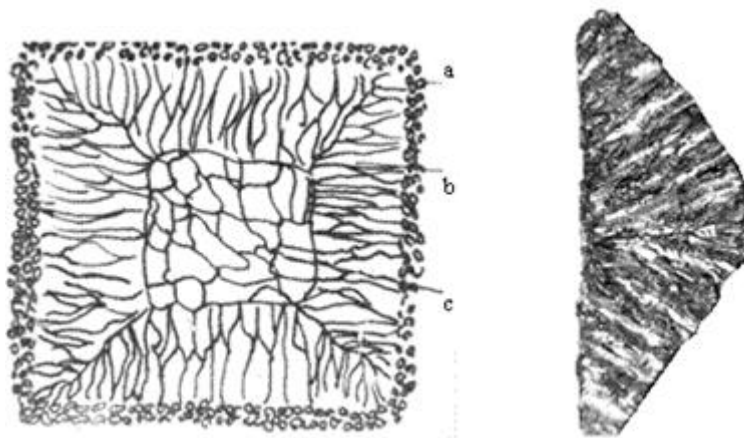


Figura 3.1.4. Zonele formate în timpul cristalizării primare:

- a) Zona boabelor fine echiaxate; b) Zona boabelor columnare;
- c) Zona boabelor echiaxate grosiere. Sursă: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>



Zona 1 este formată din boabe mici, sferice și echiaxate. În această zonă, rata de răcire este foarte mare datorită contactului dintre lichid (topitură) și peretele rece al matriței, rezultând o rată rapidă de cristalizare și o capacitate mare de cristalizare. Mai mult, particulele de rugozitate și impurități de pe pereții matriței acționează ca nuclee străine de cristalizare, ducând la o structură cu granulație fină.

Zona 2 este regiunea granulelor columnare (zona de cristalizare trans). Formarea granulelor alungite de-a lungul gradientului de temperatură este cauzată de rata ridicată de răcire, rezultând o rată ridicată de cristalizare liniară. Cu toate acestea, capacitatea de cristalizare este mai mică în această zonă datorită absenței nucleelor străine de cristalizare.




Zona 3 constă din boabe grosiere, sferice și echiaxate care nu sunt orientate. Această zonă se găsește în centrul lingoului, unde viteza de răcire este foarte scăzută datorită stratului exterior solidificat, rezultând un grad scăzut de suprarăcire și, în consecință, o capacitate și o rată de cristalizare scăzută și uniformă.

Materialul metalic cu o astfel de structură neomogenă poate fi utilizat numai după ce a fost supus unui proces de tratament termic pentru a anea și omogeniza structura.

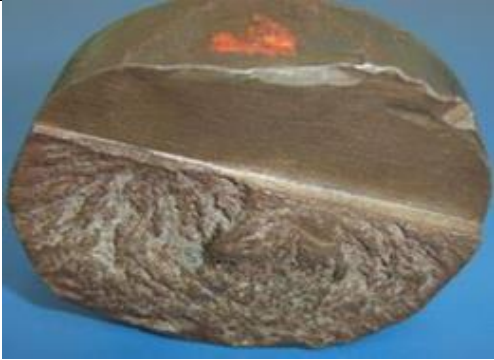


3.1.3. Analiza macroscopică a materialelor metalice pe suprafețe nepregătite permite examinarea și evaluarea acestor caracteristici structurale

No.	Eșantion studiat	Observații
1		<p>Fontă albă în stare brută</p> <p>Proba provine dintr-un bloc de retopire; material metalic fragil.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fractură alb-argintie cu granule coloane grosiere (aspect schistos). - Porii (baloanele externe) sunt vizibile pe suprafața exterioară, iar găurile interne pot fi văzute în interiorul fracturii.
2		<p>Fontă gri brută</p> <p>Eșantionul provine dintr-un bloc de retopire.</p> <p>Fractura are o culoare gri, iar în interiorul acesteia se pot observa următoarele:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Granule fine echiaxiale (globulare) care au dimensiuni neuniforme. - Goluri elipsoidale cauzate de gazele prinse în metalul topit în timpul solidificării (baloane interne). - neomogenitate chimică a culorii negre care rezultă din segregarea carbonului grafit (segregare zonală). - Porii sunt vizibili pe suprafața exterioară.



3		<p>Fontă pestriță</p> <p>Eșantionul provine dintr-un bloc de retopire.</p> <p>Este un tip de fontă care trece de la fontă albă la fontă cenușie, ceea ce este confirmat de fractura sa:</p> <ul style="list-style-type: none">- La exterior, prezintă culoarea și structura macroscopică tipice fontei albe, în timp ce spre bază, corespunde fontei cenușii (între aceste două zone tipice, există un amestec de granule de fontă albă coloană cu granule de fontă cenușie echiaxiale).- Găurile interne și externe (porii) sunt vizibile, precum și o închidere rece în formă sferică.
4		<p>Fontă mecanică gri</p> <p>Eșantionul provine dintr-o componentă obținută prin turnarea din fontă cenușie topită secundară.</p> <ul style="list-style-type: none">- Culoarea fracturii este gri, iar boabele sunt echiaxiale, foarte fine și uniforme.- Nu există găuri interne sau externe (pori).
5		<p>Oțel turnat</p> <ul style="list-style-type: none">- Eșantionul provine dintr-o bară turnată.- Suprafața exterioară este neregulată.- Fractura are o culoare alb-argintie.- Granulele sunt mari și globuloase.



6		<p>Oțel laminat la cald</p> <p>Proba provine dintr-un profil rotund care a fost laminat la cald și crestat pentru o fractură mai ușoară.</p> <ul style="list-style-type: none">- Suprafața exterioară este netedă.- Fractura are o culoare alb-argintie și prezintă granule globulare fine, strălucitoare.- În interiorul fisurii, puteți observa, de asemenea, direcțiile de deformare plastică a materialului, care a fost fracturat prin îndoire, aranjat radial sub formă de clustere de material metalic.
7		<p>Oțel cu defect</p> <p>Proba prezintă fisuri (suprafețe de fractură).</p> <ul style="list-style-type: none">- Crăpăturile pot rezulta fie din stingere viguroasă (fractură cenușie cu granulație foarte fină, imperceptibilă cu ochiul liber, boabe catifelte), fie din supraîncălzire prelungită (ardere - oxidare intergranulară), urmată de deformare plastică.
8		<p>Probă dintr-un bloc de zinc</p> <p>Fractură alb-argintie, strălucitoare, cu boabe grosiere.</p>



9		<p>Probă cu uzură mecanică</p> <p>Eșantionul provine dintr-o duză de sablare utilizată într-o instalație de curățare a pieselor turnate.</p> <ul style="list-style-type: none">- În interiorul piesei, există o neregularitate în forma sa circulară din cauza uzurii.
10		<p>Probă cu uzură mecanică</p> <p>Eșantionul provine dintr-un rulment glisant, în special dintr-un rulment.</p> <ul style="list-style-type: none">- Se observă exfolierea aliajului antifricțiune.

3.1.4. Analiza macroscopică pe suprafețe pregătite

Scopul acestei analize este de a determina neomogenitățile chimice și structurale ale materialelor metalice.

Pregătirea probelor metalografice

Eșantionul trebuie prelevat dintr-o regiune a materialului care permite obținerea maximă de informații despre material, procesele sale de fabricație și orice tratamente la care a fost supus. Această operație se realizează prin rupere, tăiere (tăiere manuală sau mecanică etc.) sau fracturare (dacă materialul este fragil).

Analiza materialelor metalice sub microscop se efectuează pe probe mici, care sunt pregătite în prealabil pentru a diferenția constituenții metalografici.

Materialele metalice sunt corpuri solide, cristaline, care sunt opace, care necesită examinare sub microscop optic folosind principiul reflexiei luminii. Pentru a permite reflectarea diferențiată a razelor de lumină de către diferiți constituenți metalografici, trebuie pregătită suprafața de studiu a eșantionului. Pregătirea probelor pentru examinare cu un microscop metalografic optic implică următoarele operații: extragerea probei, pregătirea suprafeței de lucru și gravarea chimică.

Probele metalografice sunt piese relativ mici, cu suprafețe cuprinse între $(0,5...30) \times (30...0,5)$ mm², special pregătite din materialele metalice ce urmează a fi studiate la microscopul optic.

Pregătirea probelor – Operațiuni

În laborator, probele vor fi prelevate din diverse materiale folosind un disc abraziv foarte subțire. O suprafață de probă va fi pregătită prin nivelare, șlefuire, lustruire, gravare chimică și, în final, va fi examinată cu ochiul liber sau cu un microscop metalografic cu structura desenată.

Pentru analiza macroscopică, trebuie efectuate o serie de operații: selectarea locului de eșantionare și prelevarea probei, nivelarea, măcinarea, lustruirea și, dacă este necesar, gravarea chimică.

Colectarea probelor: Pentru a obține cele mai exacte informații despre materialul investigat, eșantionul colectat trebuie să fie reprezentativ și adecvat scopului propus. Alegerea locului de prelevare trebuie făcută astfel încât eșantionul să includă structura caracteristică a materialului metalic, precum și orice efecte ale prelucrării mecanice, termice, termochimice anterioare, defecte existente etc. Probele metalografice nu trebuie să fie prea mari, în funcție de produsele semifinite sau piesele studiate, eșantioanele pot avea dimensiuni diferite. Probele prelevate din foi subțiri, fire, piese mici, cum ar fi aliaje medicale, sau probe care trebuie studiate la margine trebuie fixate într-un suport sau încorporate în rășină sintetică sau material ușor fuzibil. Extragerea probelor din materiale metalice se poate face prin tăiere manuală sau mecanică folosind un ferăstrău sau un disc abraziv. De asemenea, pot fi utilizate mașini precum mașini de frezat, strunguri sau alte echipamente, asigurându-se că structura inițială a eșantionului nu este modificată din cauza încălzirii sau deformării. Prin urmare, trebuie evitată tăierea oxiacetilenei cu flacără, tăierea electrică, care produce încălzire excesivă sau forfecarea și dăltuirea care provoacă deformare. Atunci când nu există altă soluție, partea modificată a materialului datorată procesului de extracție trebuie îndepărtată prin frezare, strunjire, măcinare etc. Materialele dure trebuie tăiate cu discuri abrazive subțiri cu răcire abundentă, în timp ce pentru materialele fragile, probele trebuie fracturate.

1. *Eșantioanele* metalografice prelucrate prin alunecare sunt supuse nivelării suprafeței de studiu, care se realizează cu ajutorul unui polizor, strung sau mașină de frezat, asigurându-se că eșantioanele nu se supraîncălzesc, în special cele care au fost stinse sau tratate termic.
2. *Șlefuirea* se realizează pe hârtie metalografică, care are granule abrazive de diferite dimensiuni fixate pe o parte în ordine descrescătoare. Acest lucru se poate face manual printr-o mișcare liniară înainte și înapoi (cu hârtia fixată pe o placă de sticlă) sau automat pe mașini de rectificat echipate cu unul sau două discuri rotative la o viteză de 10-15 m/s, la care este atașată hârtia metalografică. Dacă suprafața eșantionului a fost finisată printr-o operație de prelucrare, șlefuirea ar trebui să înceapă cu abraziv cu granulație medie (25 sutimi de mm) sau nr. 60 (dimensiunea ochiului liniar al ochiului



de plasă prin care a fost cernut abrazivul), urmată de granulație fină (16, 12, 10), granulație foarte fină (8, 6, 4) și, în final, hârtii care conțin micropulberi extrafine (M40, M28... M7). Trecerea de la o hârtie cu o anumită granulație la alta cu o granulație mai fină ar trebui să aibă loc atunci când zgârieturile de la măcinarea anterioară au dispărut, asigurându-se că eșantionul este rotit la 90 de grade față de poziția sa anterioară. Eșantioanele cu dimensiuni normale pot fi ținute direct manual, în timp ce cele mai mici pot fi montate sau încorporate în rășini sintetice sau materiale mai moi. În timpul măcinării, trebuie aplicată o presiune ușoară pe hârtia abrazivă pentru a evita supraîncălzirea peste 50-60 ° C și oxidarea suprafeței.

3. *Lustruirea suprafeței de studiu a probei se face pentru a îndepărta zgârieturile finale de la măcinare și pentru a obține o suprafață netedă cu o strălucire perfectă. Acest lucru se face pe o mașină de lustruit, unde se folosește un disc rotativ cu o viteză mai mare decât la șlefuire (15-20 m / s) și se atașează o cârpă de lână (pâslă) umezită continuu cu o soluție de suspensie abrazivă 1:20 (oxid de aluminiu, oxid de magneziu etc.). Pentru lustruire, proba este ținută manual și presată ușor pe cârpă până când toate zgârieturile dispar (max. 5 min.). În timpul lustruirii, proba este rotită lent pentru a evita ruperea incluziunilor și formarea de noi zgârieturi. Extinderea timpului de lustruire determină ridicarea structurii din cauza uzurii constituenților structurali moi. După lustruire, proba este clătită cu un jet de apă pentru a îndepărta orice urmă de material abraziv, apoi cu alcool și, uneori, se efectuează o neutralizare a urmelor acide folosind o soluție bazică (carbonat de sodiu). Proba se usucă cu un curent de aer cald sau prin ștergere ușoară cu hârtie de filtru. Proba, astfel preparată, poate fi supusă examinării microscopice pentru a determina incluziunile nemetalice (zgură, oxizi, sulfuri, grafit etc.), eventualele defecte (microfisuri, microreticulari etc.) sau poate fi gravată chimic pentru a diferenția constituenții structurali.*
4. *Gravarea chimică:* Reactivii chimici nu reacționează uniform cu toți constituenții structurali ai materialului metalic supus gravării. Unii constituenți (în special cei eterogeni) sunt corodați (dizolvați) sau colorați, în timp ce alții rămân strălucitori. Dacă suprafața lustruită conține același tip de constituenți metalografici, reactivul chimic va coroda numai limitele dintre granulele de același fel, deoarece la limitele granulelor există zone eterogene (cu impurități, incluziuni, straturi amorfe etc.) care nu sunt rezistente la acțiunea chimică a reactivilor. Substanțele chimice utilizate în mod obișnuit sunt acizii sau soluțiile de acizi în apă sau alcool (a se vedea tabelul), iar gravarea poate fi efectuată fie la temperatura camerei, fie cu încălzire. După gravarea chimică, probele metalografice sunt clătite cu un jet de apă, apoi cu alcool (pentru a îndepărta orice reziduuri acide sau de grăsimi de pe suprafața de studiu). Uneori, se aplică neutralizarea urmelor de acid cu o soluție bazică (carbonat de sodiu). Proba se usucă cu un curent de aer cald sau prin ștergere ușoară cu hârtie de filtru. Sub



microscop, limitele dintre granulele corodate și cele colorate spre nuanțe mai întunecate apar întunecate, deoarece razele de prag sunt absorbite de suprafețele negre. Razele de lumină pot fi deviate și în altă parte (conform legilor de reflexie) în comparație cu sistemul optic al microscopului, așa cum se vede în figura 5 (cu iluminare verticală - câmp luminos). Constituenții negrași (strălucitori) (a) reflectă razele de lumină în ocularul microscopului și apar de culoare albă. Constituenții corodați (b) sau limitele dintre granule pot avea o suprafață strălucitoare, caz în care razele sunt reflectate lateral (unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie), sau pot avea o suprafață mată atunci când razele sunt absorbite total sau parțial. În ambele cazuri, constituenții apar întunecați sub microscop. Constituenții colorați (c), care absorb razele de lumină, sunt observați la microscop ca întunecați, cu diferite grade de întuneric.

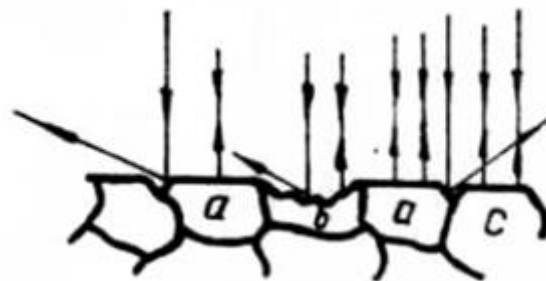


Figura 3.1.5. Evidențierea constituenților sub microscopul optic. Sursă:

<https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

Gravarea se realizează prin imersarea probei în reactiv sau prin umezirea suprafeței cu un tampon de bumbac înmuiat în reactivul chimic până când suprafața lucioasă a probei devine ușor mată. Acțiunea reactivului este întreruptă prin clătirea probei cu un jet de apă și apoi cu alcool. Eșantioanele se usucă folosind un curent de aer cald sau prin presarea ușoară a unei hârtii de filtru pe suprafața spălată. Gravarea poate fi efectuată la temperatura camerei sau la temperaturi ridicate (până la 400°C).

Reactivii metalografici sunt selectați în funcție de natura materialului metalic investigat și de aspectele specifice studiate:

- Pentru oțeluri obișnuite și fontă, se utilizează Nital (2-5% HNO₃ în alcool etilic). Pentru oțelurile aliate inoxidabile se utilizează aqua regia (20-30 ml HCl, 10 ml HNO₃, 30-70 ml glicerol).
- Aliajele medicale nobile, seminobile și nenobile pe bază de Cr-Ni sau Cr-Mo utilizează reactivul Aqua Regia (20-30 ml HCl + 10 ml HNO₃ + 30-70 ml glicerol). Un alt reactiv pentru aceste tipuri de materiale este compus din 3 părți HCl și 1 parte HNO₃ sau se poate utiliza reactiv Groesbeck (4 g permanganat de potasiu + 4 g NaOH + 100 ml apă). Acești reactivi pot fi utilizați și pentru oțeluri inoxidabile și refractare.



- Aliajele medicale pe bază de cupru utilizează reactivi precum 50 ml bioxid de amoniu (NH_4BiO_3) + 20-50 ml (H_2O_2) + 50 ml apă (H_2O) sau 30-50 ml (HNO_3) + 70-50 ml apă (H_2O) sau 5 g persulfat de amoniu ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) + 90 ml apă (H_2O).
- Pentru a evidenția structura platinei se utilizează 100 ml HCl + 10 ml HNO_3 + 50 ml apă (H_2O). Pentru structurile de argint se utilizează o soluție de 50 ml cianură de potasiu (KCN) cu o concentrație de 5% + 50 ml persulfat de amoniu ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) 5%. Pentru structurile din titan se utilizează 25 ml HNO_3 + 25 ml HF + 50 ml glicerol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$).

Analiza macroscopică

Ca urmare a deformării plastice a materialului metalic, structura cerealelor este rearanjată în funcție de direcția deformării (fluxul de cereale). În procesul de deformare plastică rece ($T_{\text{deformare}} < T_{\text{recristalizare}}$) cu grade ridicate de deformare (tragere, laminare etc.), granulele materialului metalic se alungesc în direcția deformării maxime. Secțiunea longitudinală obținută (tratată cu un reactiv chimic) este caracterizată de boabe alungite obținute prin deformare plastică la rece (figura 6).

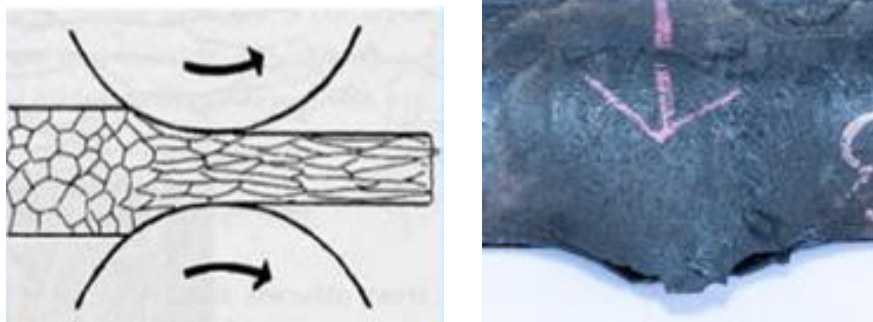


Figura 3.1.6. Structura cerealelor obținută ca urmare a deformării plastice reci. Sursă: <https://learnmech.com/hot-rolling-vs-cold-rolling-difference-between-hot-rolling-and-cold-rolling/>

În urma deformării plastice fierbinți ($T_{\text{deformare}} > T_{\text{recristalizare}}$) fluxul de granule care apare în secțiunile longitudinale nu se mai caracterizează prin forma alungită a granulelor. Acest lucru se datorează faptului că recristalizarea are loc datorită temperaturii deformării plastice care depășește temperatura de recristalizare, determinând echiarea granulelor. În acest caz, fluxul de cereale este evidențiat prin distribuția incluziunilor în straturi. Se poate observa în figura 7 că fluxul de cereale urmează conturul piesei. În absența incluziunilor nemetalice, materialul metalic deformat la cald nu prezintă un aspect fibros.

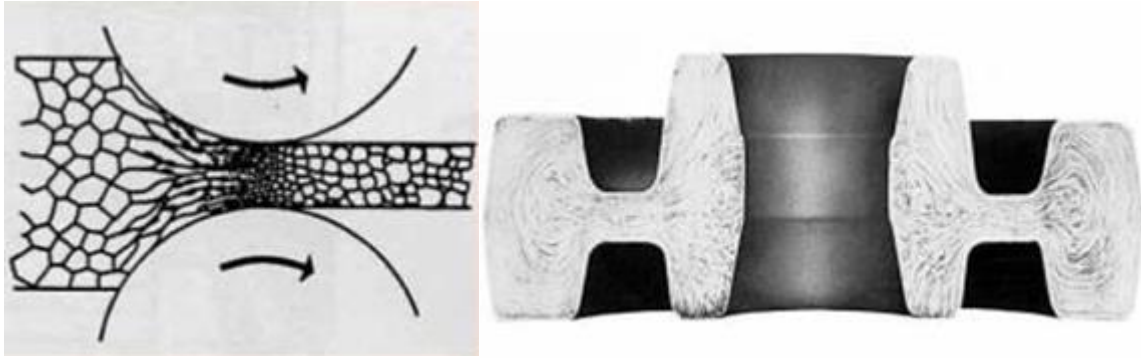


Figura 3.1.7. Structura cerealelor obținută ca urmare a deformării plastice fierbinți. Sursă: <https://learnmech.com/hot-rolling-vs-cold-rolling-difference-between-hot-rolling-and-cold-rolling/>

Aspecte ale îmbinărilor sudate

De asemenea, pot fi evidențiate diverse aspecte ale îmbinărilor sudate, cum ar fi forma talonului de sudură (în forme X, V, U etc.), diferite straturi de sudură, zona afectată de căldură (HAZ) - care apare mai închisă la culoare și zona metalică de sudură (WMZ). În plus, examinarea transversală a îmbinărilor sudate poate dezvălui zone caracteristice (Figura 8) după șlefuire și gravare chimică: zona metalului de bază (BMZ), zona afectată de căldură (HAZ) - care este mai închisă la culoare și zona metalică de sudură (WMZ). Alte caracteristici care pot fi observate includ forma secțiunii transversale a sudurii (forma V, forma X, forma U etc.), straturile distincte de sudură, zona de recristalizare (cristale columnare) și defectele (porii, segregările, lipsa fuziunii, fisurile etc.).

Zona metalului de bază este situată suficient de departe de operația de sudură pentru a preveni orice modificări fizico-chimice semnificative.

Zona afectată de căldură reprezintă o zonă în care efectele termice în timpul unui proces de sudare au indus modificări structurale și de proprietate în metalul de bază.

Talonul de sudură este zona topită și solidificată în care efectul termic maxim a permis temporar topirea marginilor materialului de bază, eventual cu participarea materialului de umplură sau numai a materialului de umplură în sine.

Diferitele zone din secțiunea transversală a talonului de sudură sunt evidențiate prin pregătirea corespunzătoare și gravarea chimică (de exemplu, reactivul Adler este utilizat pentru oțeluri).

Prin urmare, examinarea macroscopică a ariei secțiunii transversale a îmbinărilor sudate relevă următoarele zone:

- zona metalelor comune (BMZ)
- zona afectată de căldură (HAZ)
- zona metalică de sudură (WMZ)



Zona metalului de bază, fiind suficient de îndepărtată, nu suferă modificări fizico-chimice semnificative datorită operației de sudare. Cu toate acestea, zona afectată de căldură reprezintă o zonă în care au avut loc modificări structurale și de proprietate în metalul de bază datorită temperaturii ridicate în timpul procesului de sudare. Talonul de sudură (cusătura de sudură) este zona topită și solidificată în care efectul termic maxim a dus la topirea temporară a marginilor pieselor de sudat, cu sau fără participarea materialului de umplură. Profilul și dimensiunile acestor zone pot varia pentru același material metalic, în funcție de tipul de sudură și de orice tratamente termice aplicate înainte, după sau în timpul sudării.

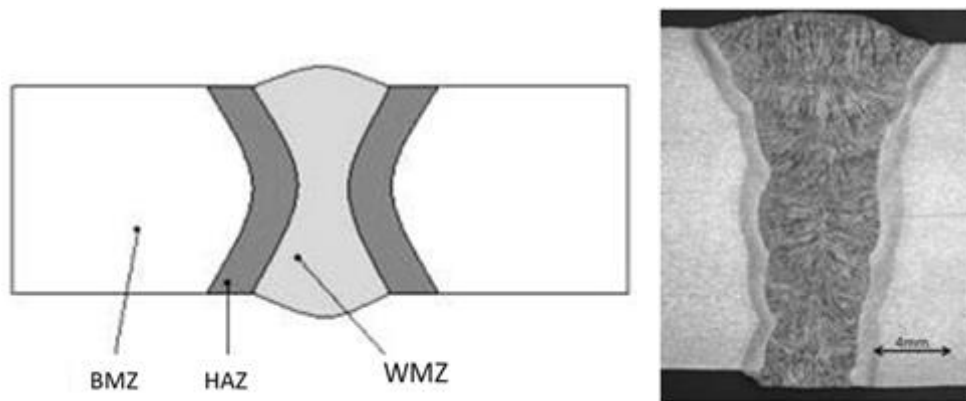


Figura 3.1.8. Zonele îmbinării sudurii în sudarea clasică cu arc electric cu material de umplură. Sursă: https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf

Neomogenitatea chimică rezultată din turnare, deformare plastică sau tratamente termochimice poate fi, de asemenea, evidențiată prin examinarea microscopică. De exemplu, structura dendritică poate fi evidențiată prin gravare chimică adecvată (reactiv Oberhoffer pentru oțeluri și reactiv Keller pentru aliaje de aluminiu). Figura 9 prezintă structura dendritică primară a unui aliaj Al-Si (AlSi12), unde neomogenitatea chimică rezultată din turnare este evidentă.

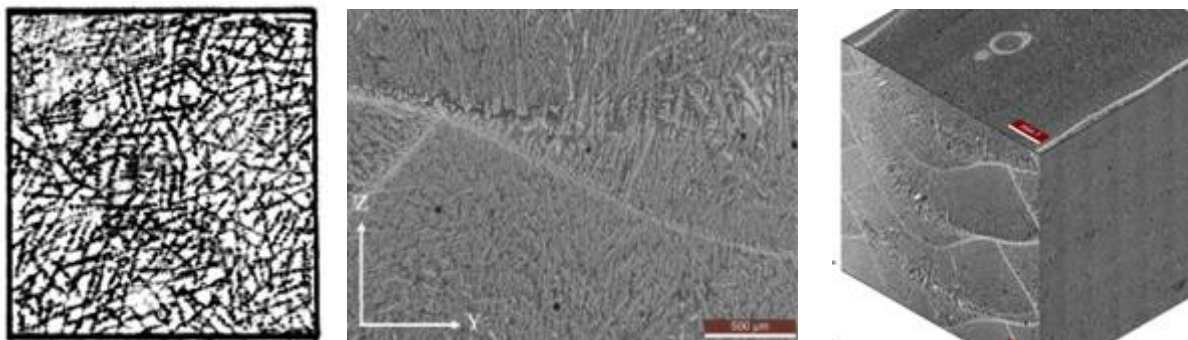


Figura 3.1.9. Structura dendritică primară a unui aliaj Al-Si. Sursă: <https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2015/03/MF1-Laboratoare.pdf>

În plus, prin gravarea chimică a unei suprafețe transversale a unei piese tratate termic prin carburizare, se poate observa stratul exterior îmbogățit în carbon (având o culoare mai închisă), permițând evaluarea macroscopică a adâncimii de difuzie a carbonului în stratul superficial al piesei.

În timpul examinării macroscopice a suprafețelor preparate și gravate chimic ale materialelor metalice, pot fi detectate anumite defecte, cum ar fi incluziunile de zgură, suprapunerile de materiale, porii, găuri de suflare, fisurile etc.

Echipamente, materiale și procedură de lucru

Analiza macroscopică presupune examinarea vizuala a suprafețelor fracturate sau preparate, sau a suprafețelor gravate chimic ale probelor realizate din diverse materiale metalice (fonta, oteluri, aliaje neferoase). Se recomandă utilizarea lupelor (Figura 10) pentru a evidenția anumite aspecte macrostructurale dificil de observat cu ochiul liber. Probele metalografice vor fi analizate cu accent pe forma lor, culoarea și tipul fracturii, neomogenitățile structurale, defectele rezultate din prelucrarea sau solicitările de material și așa mai departe, sau pe secțiunea sudată.



Figura 3.1.10. Lupă pentru examinare macroscopică. Sursă: https://sim.tuiasi.ro/wp-content/uploads/2021/05/Laborator_SM_2020.pdf

În plus, suprafețele de fractură ale probelor realizate din diverse materiale metalice vor fi analizate pentru a determina tipul de fractură și comportamentul materialului sub deformare plastică. Pe baza analizei efectuate, se vor trage concluzii cu privire la faptul dacă materialul examinat prezintă un comportament ductil sau fragil și în ce condiții poate fi utilizat practic.

3.1.5 Examinări macroscopice ale materialelor metalice pe suprafețe pregătite

No.	Eșantion studiat	Observații
1		<p>Aliaje de aluminiu turnate</p> <p>Proba se prelevează dintr-un lingou de aliaj mic:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pe suprafața pregătită și gravată chimic se observă dendrite. - În partea superioară a eșantionului, există o cavitate de contracție și o fisură cauzată de contracția materialului în timpul solidificării. - În centrul eșantionului este vizibil un gol intern (orificiu de suflare).
2		<p>Eșantion de oțel crăpat</p> <p>În urma tratamentului termic al călirii, proba a crăpat din cauza solicitărilor interne ridicate induse de prezența concentratoarelor mecanice de stres (de exemplu, o canelură de cheie neconectată) sau a impurităților aranjate în rânduri.</p>
3		<p>Eșantion dintr-un component sudat sub sarcină</p> <p>Într-o secțiune transversală, gravată chimic, pot fi observate cele trei zone caracteristice ale sudurii:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zona materialului de bază (BMZ). - Zona afectată de căldură (culoare mai închisă - HAZ). - Sudați zona metalică (WMZ).



4		<p>Eșantion dintr-un oțel sudat în V</p> <p>Într-o secțiune transversală, gravată chimic, se poate observa zona materialului solidificat și materialul de bază.</p> <ul style="list-style-type: none">- Sudura a fost creată prin finalizarea trecerii rădăcinii.
5		<p>Deformarea la rece a probei</p> <p>Se poate observa structura granulei care urmează conturul piesei.</p>

3.1.6. Întrebări

1. Care este scopul Demonstrației de evaluare a probelor macroscopice de articulații în acest context?
2. Care sunt etapele implicate în pregătirea probelor metalografice?
3. Care sunt etapele pregătirii suprafeței pentru examinare?
4. Cum diferă analiza macroscopică pe suprafețe nepregătite de analiza macroscopică pe suprafețe pregătite?
5. De ce este importantă analiza macroscopică a materialelor metalice pe suprafețe nepregătite și ce caracteristici structurale pot fi examinate prin această metodă?
6. Care sunt zonele secțiunii transversale a îmbinărilor sudate care pot fi evidențiate?
7. Există tehnici sau instrumente specifice discutate pentru analiza macroscopică?
8. Care sunt potențialele aplicații sau industrii în care această analiză macroscopică a materialelor metalice este relevantă?

3.2.1 Introducere în imperfecțiunile sudurii

Imperfecțiunile sudurii sunt abateri sau nereguli într-o sudură care îi pot afecta integritatea, rezistența și calitatea generală. Aceste imperfecțiuni pot apărea din diverși factori, inclusiv parametrii procesului de sudare, proprietățile materialelor, abilitățile operatorului și condițiile



de mediu. Identificarea și abordarea acestor imperfecțiuni este crucială pentru a asigura fiabilitatea și siguranța structurilor sudate.

Prezentare generală a imperfecțiunilor comune de sudură

- **Porozitatea** se referă la prezența unor mici cavități sau goluri în metalul sudurii cauzate de gazele prinse, cum ar fi hidrogenul sau azotul. Aceste goluri pot slăbi sudura și o pot face mai susceptibilă la fisuri.

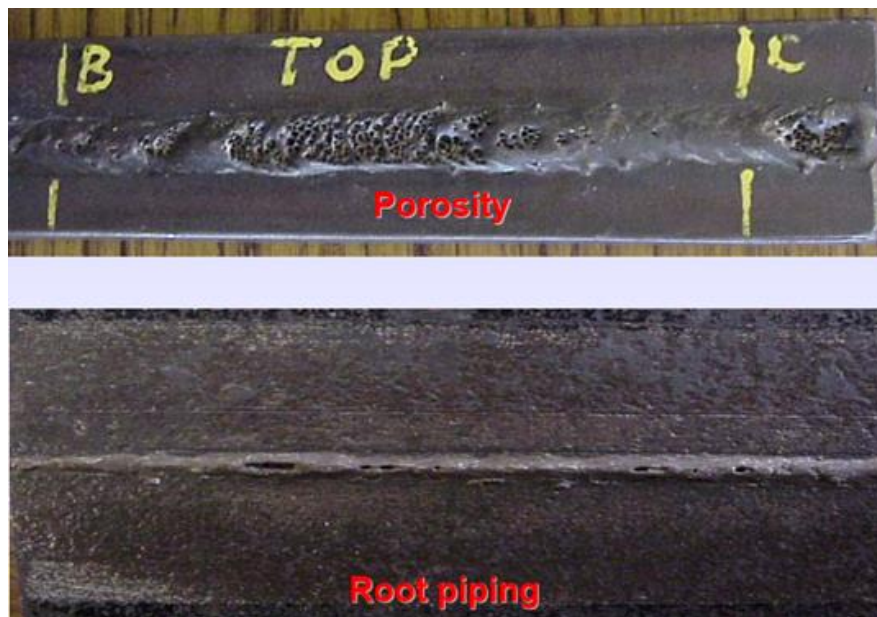


Fig. 3.2.2. Caracteristicile vizuale ale cavităților gazoase. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

Lipsa fuziunii apare atunci când există o lipire inadecvată între metalul sudurii și metalul de bază sau între diferite treceri de sudură. Aceasta poate duce la o articulație slabă care poate să nu poată rezista forțelor aplicate.

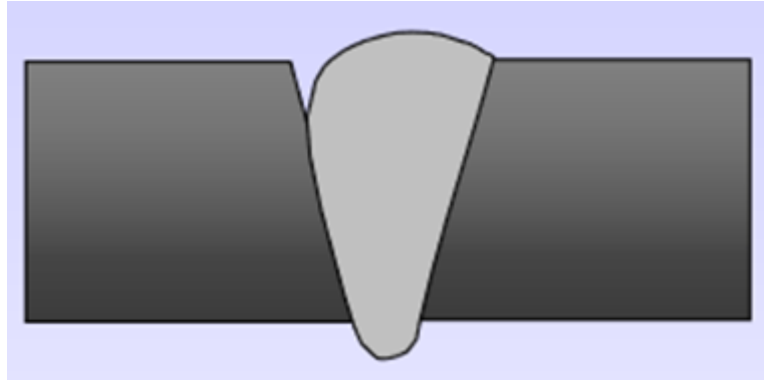


Fig. 3.2.3. Canelură umplută incompletă. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Penetrarea incompletă se** întâmplă atunci când metalul de sudură nu penetrează complet îmbinarea sau nu se extinde pe întreaga grosime a metalului de bază. Acest lucru poate duce la reducerea rezistenței și integrității.

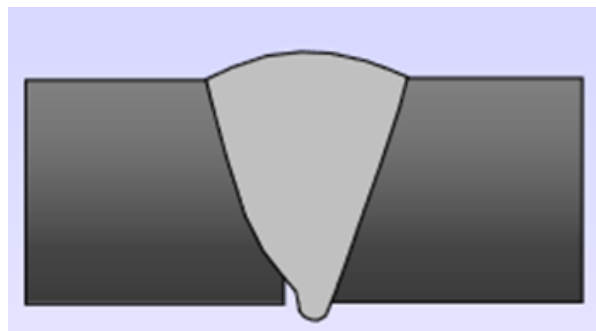


Fig. 3.2.4. Fuziune rădăcină incompletă. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

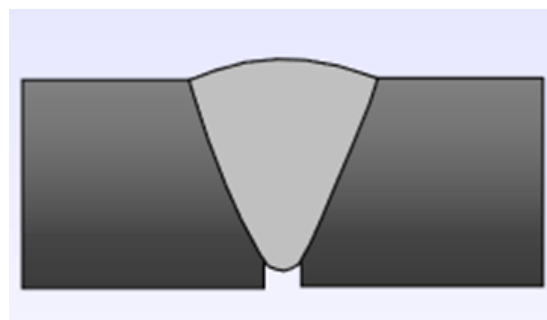


Fig. 3.2.5. Penetrarea incompletă a rădăcinilor. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Subcotarea** este formarea unei caneluri de-a lungul metalului de bază în apropierea sudurii datorită căldurii excesive sau tehnicii de sudare necorespunzătoare. Poate crea concentrații de stres și poate slăbi articulația.

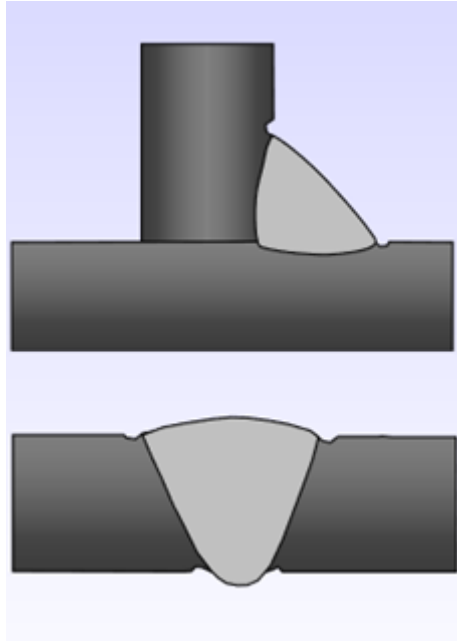


Fig. 3.2.6. Rădăcină și capac sub tăiere. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Suprapunerea** apare atunci când metalul de sudură se extinde pe suprafața metalului comun fără fuziune adecvată. Acest lucru poate duce la o lipsă de rezistență și la o sensibilitate crescută la fisuri.

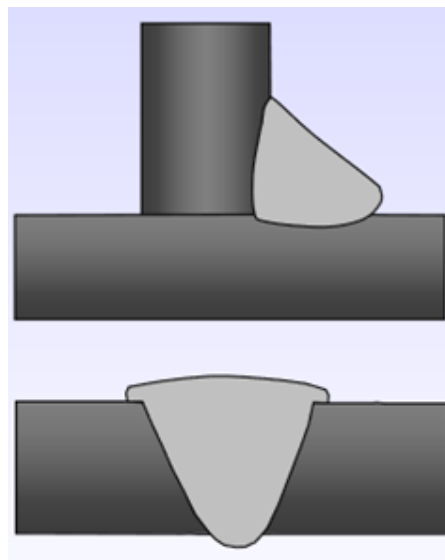


Fig. 3.2.7. Suprapunerea degetelor de la picioare în sudura cap la cap/filet. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Fisurile** se pot forma în diferite orientări și locații din sudură. Tipurile comune includ fisuri longitudinale de-a lungul axei de sudură, fisuri transversale de-a lungul sudurii și



fisuri în zona afectată de căldură. Crăpăturile pot compromite integritatea structurală a sudurii.

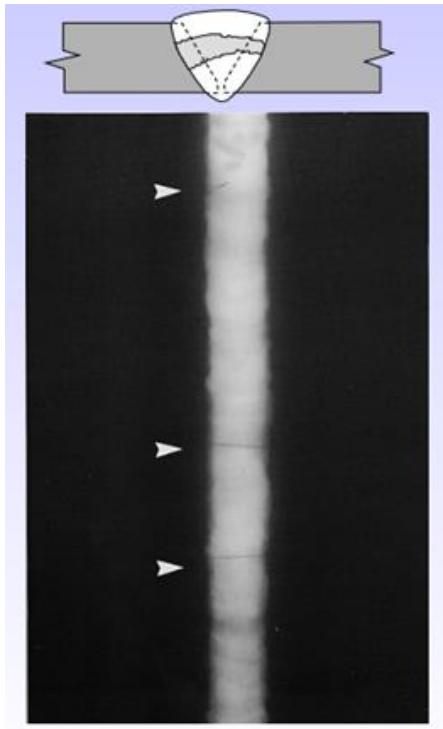


Fig. 3.2.8. Crăpătură transversală

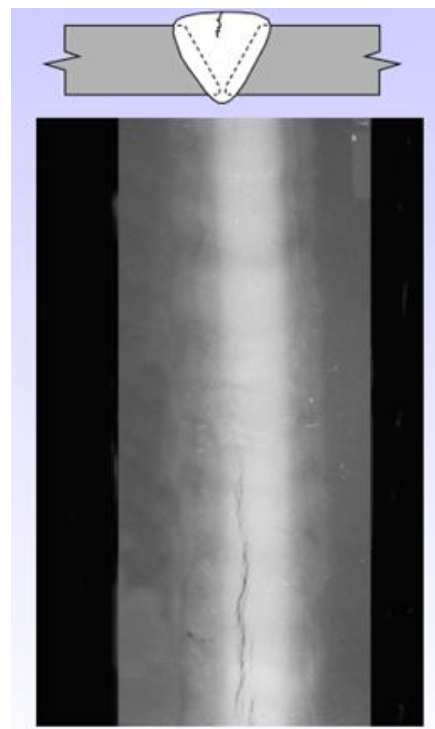


Fig. 3.2.9. Crăpătură longitudinală

Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

Weld Spatter se referă la picăturile mici de metal topit expulzate din arcul de sudură care pot adera la suprafața sudurii. Deși nu este întotdeauna dăunător din punct de vedere structural, stropirea excesivă poate afecta aspectul și poate provoca puncte slabe.



Fig. 3.2.10. Caracteristicile vizuale ale stropilor. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.



- **Incluziunile** sunt materiale străine, cum ar fi zgură, oxid, tungsten sau flux, care devin prinse în sudură. Acestea pot provoca zone de slăbiciune și rezistență redusă la coroziune.



Fig. 3.2.11. Incluziuni de zgură între pasaje

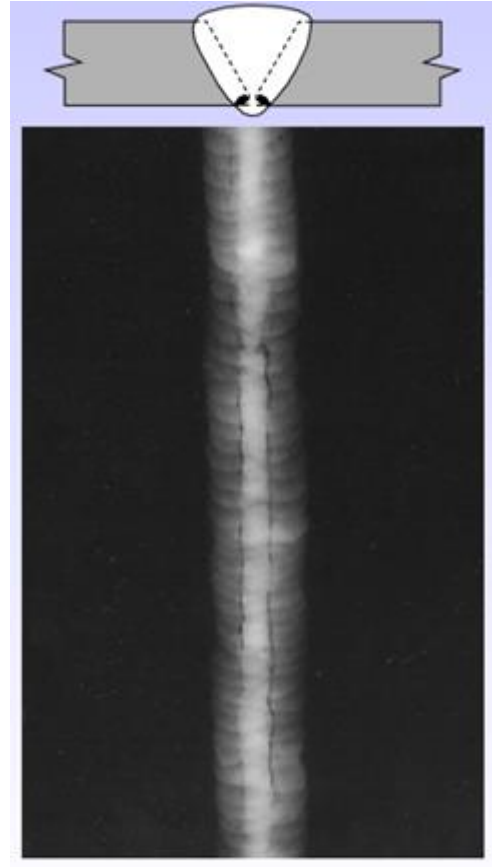


Fig. 3.2.12. - linii de zgură

Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Nealinieria** apare atunci când îmbinarea sudurii nu este aliniată corespunzător înainte de sudare, ceea ce duce la suduri inegale și slabe.

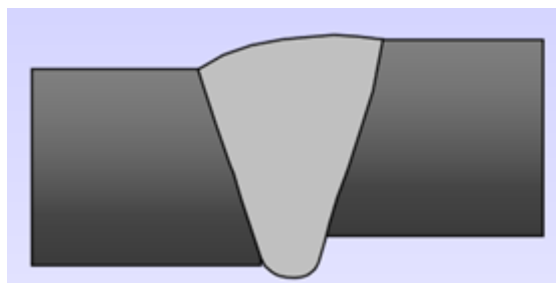


Fig. 3.2.13. Nealinierie liniară. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

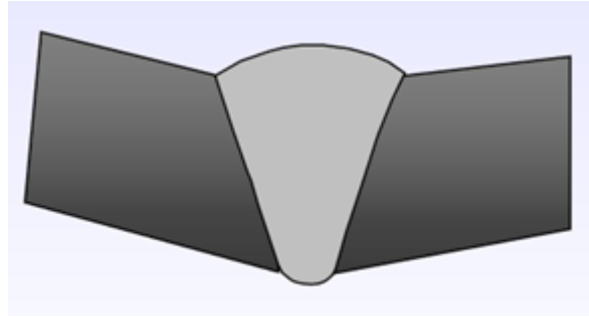


Fig. 3.2.14. Nealiniere unghiulară. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

Armarea excesivă se întâmplă atunci când talonul de sudură se extinde dincolo de dimensiunile necesare. Acest lucru poate duce la concentrații de stres și poate să nu îndeplinească specificațiile de proiectare.

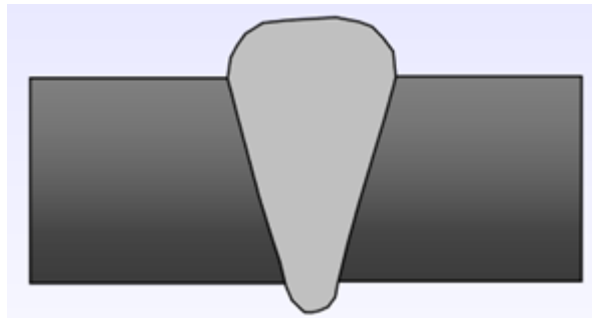


Fig. 3.2.15. Înălțimea excesivă a capacului. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

- **Gaurire** apare atunci când căldura sudurii este excesivă, provocând topirea prin metalul de bază și creând potențial găuri.

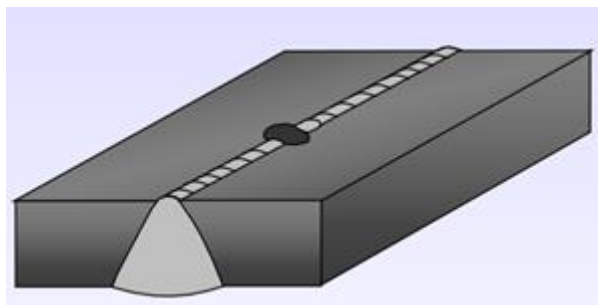


Fig. 3.2.16. Gaurire. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.



- **Distorsiunea** se referă la deformarea sau deformarea structurii sudate datorită aportului de căldură în timpul sudării. Deși nu este neapărat un defect, distorsiunea excesivă poate afecta potrivirea și funcția.

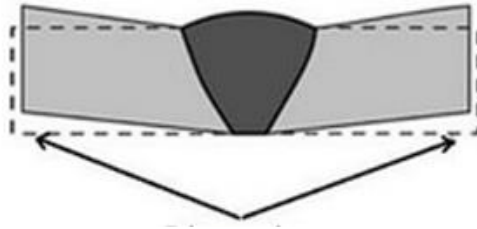


Fig. 3.2.17. Distorsiune. Sursă: M.S. Rogers, Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference WIS 5, 2003.

Imperfecțiunile sudării pot fi corelate cu tipul de proces de sudare utilizat datorită caracteristicilor și parametrilor specifici asociați fiecărei metode de sudare. Diferitele procese de sudare au surse de căldură, rate de depunere și tehnici distincte, care pot influența tipurile de imperfecțiuni care sunt mai susceptibile să apară.

Sudarea cu arc metalic ecranat poate fi mai predispusă la incluziuni de zgură, mai ales dacă nu se efectuează curățarea corespunzătoare și îndepărtarea zgurii între treceri. Porozitatea și lipsa fuziunii pot apărea, de asemenea, datorită naturii manuale a procesului, ceea ce poate duce la o acoperire inconsecventă și la un control inadecvat al căldurii.

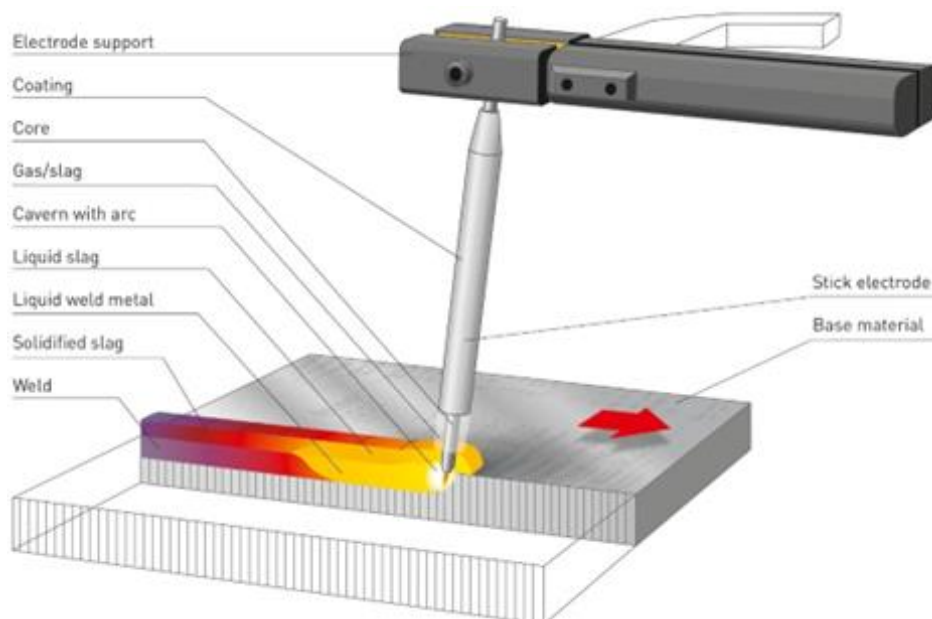


Fig. 3.2.18. Sudare cu arc metalic ecranat. Sursă: <https://www.kjellberg.de/gas-shielded-metal-arc-welding.html>

Sudarea cu arc metalic ecranat cu gaz este, în general, mai puțin predispusă la imperfecțiunile legate de zgură, dar poate avea probleme cu porozitatea și fuziunea incompletă dacă gazul de protecție nu este controlat în mod adecvat. Stropii de sudură ar putea fi, de asemenea, prezenți datorită utilizării firului electrod consumabil.

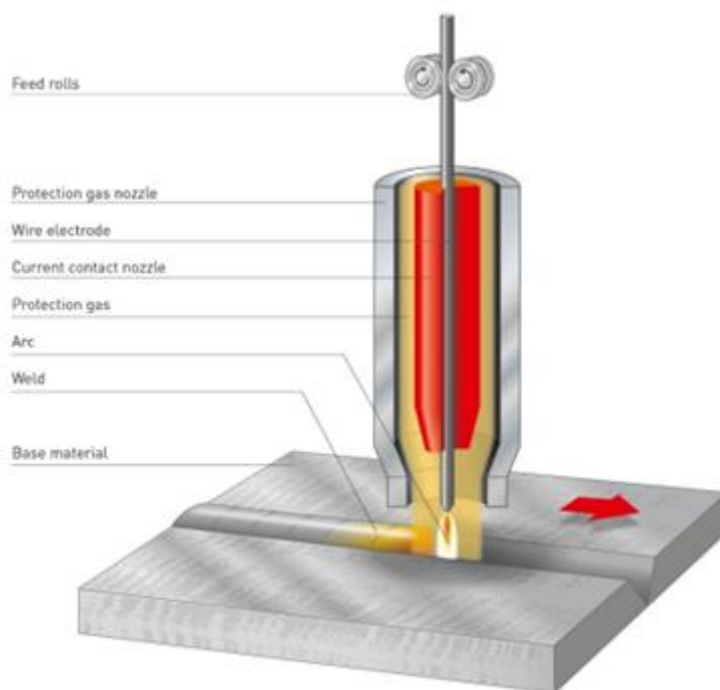


Fig. 3.2.19. Sudare cu arc metalic ecranat cu gaz. Sursă: <https://www.kjellberg.de/manual-metal-arc-welding.html>

Sudarea cu arc de tungsten cu gaz este cunoscută pentru producerea de suduri de înaltă calitate, dar lipsa fuziunii și penetrarea incompletă pot apărea dacă aportul de căldură nu este controlat corect. Incluziunile de tungsten pot fi, de asemenea, o preocupare dacă electrodul de tungsten intră în contact cu bazinul de sudură.

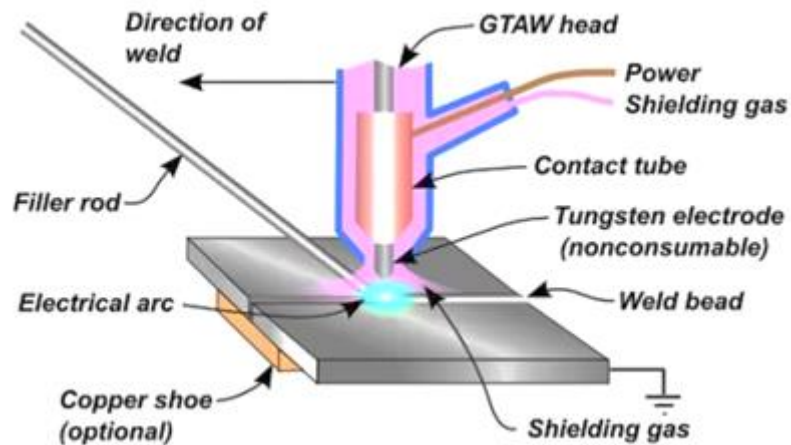


Fig. 3.2.20. Sudare cu arc de tungsten cu gaz. Sursă: <https://www.weldingis.com/gtaw-welding/>

Sudarea cu arc cu miez de flux poate prezenta incluziuni de zgură și porozitate dacă miezul de flux nu este compatibil în mod corespunzător cu metalul de bază sau dacă nu există suficient gaz de protecție. Similar cu GMAW, stropii ar putea fi o problemă din cauza utilizării firului de umplere consumabil.

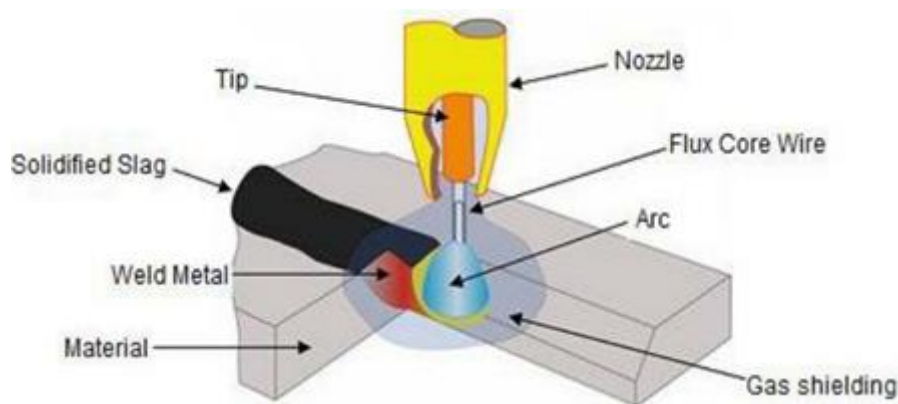


Fig. 3.2.21. Sudarea cu arc cu miez flux. Sursa: Celso, Alves Correa; Niederauer, Mastelari (2014). Efectul parametrilor de sudare în sudarea cu arc cu miez de flux (FCAW) cu curent convențional și în impulsuri asupra eficienței și vitezei de fuziune a stratului de topire.

Cercetare științifică și eseuri.

Sudarea cu arc submersat este, în general, asociată cu suduri adânci, de înaltă calitate, dar pot apărea fuziunea incompletă și lipsa fuziunii pereților laterali dacă pregătirea și alinierea îmbinării nu sunt bine controlate.

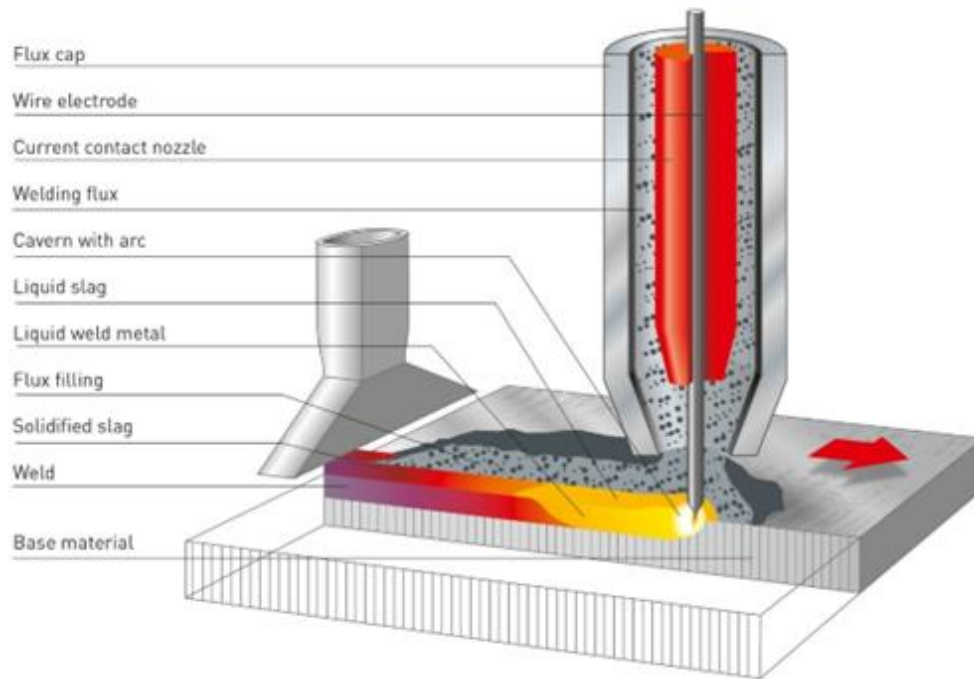


Fig. 3.2.22. Sudura cu arc submersat. Sursa: <https://www.kjellberg.de/submerged-arc-welding-2.html>

Sudarea cu arc cu plasmă reduce sudurile precise și controlate, dar pot apărea o penetrare inadecvată și lipsa fuziunii dacă parametrii nu sunt setați corespunzător. Incluziunile de tungsten și controlul necorespunzător al găurii cheii pot duce, de asemenea, la defecte.

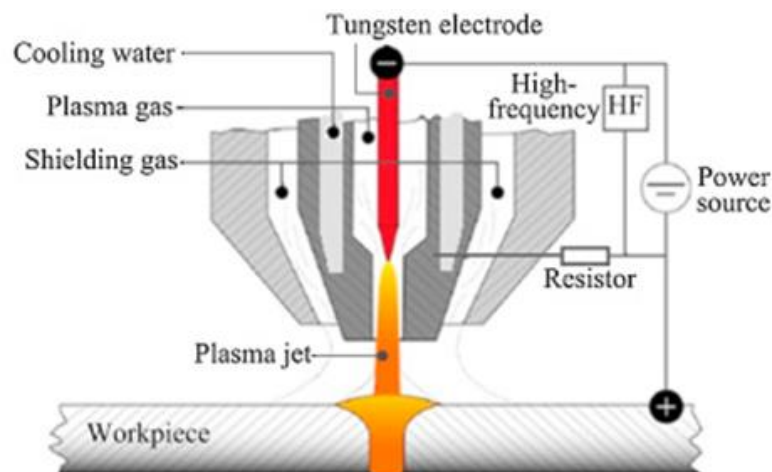


Fig. 3.2.23. Sudarea cu plasmă. Sursa: Liu, Zu Ming; Cui, Shuang Lin; Luo, Zhen; Zhang, Chang Zhen; Wang, Zheng Ming; Zhang, Yu Chen (2016). Sudarea cu arc cu plasmă: variantele de



proces și evoluțiile sale recente de detectare, control și modelare. Journal of Manufacturing Processes.

Sudarea cu fascicul de electroni este cunoscută pentru densitatea mare de energie, care de obicei duce la imperfecțiuni minime. Cu acestea, îmbinarea necorespunzătoare a pieselor, cavitatea temporară formată în timpul sudurii și problemele de focalizare a fasciculului pot duce la defecte de sudură, cum ar fi lipsa de fuziune și porozitate.

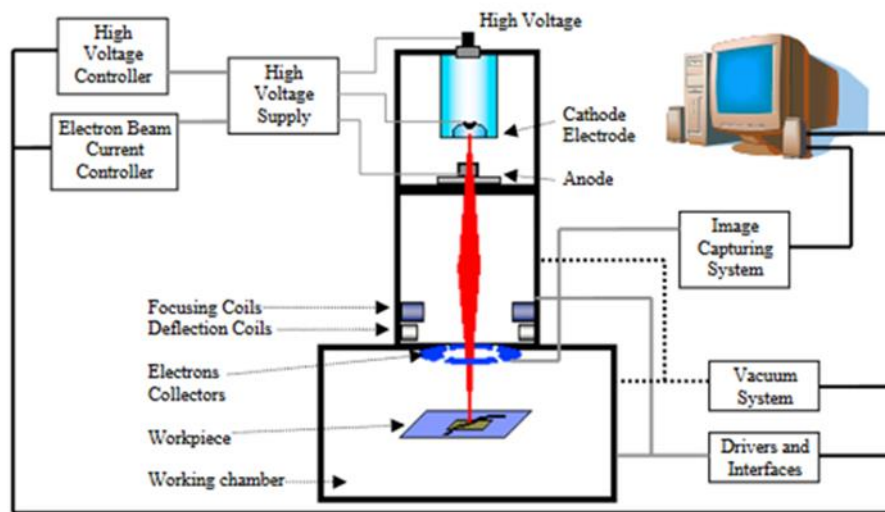


Fig. 3.2.24. Sudarea cu fascicul de electroni. Sursa: Oltean, Stelian-Emilian (2018). Strategii de monitorizare și control cu urmărirea cusăturii în sudarea cu fascicul de electroni. Procedia Manufactur-ing, 22(), 605-612.

3.2.2 Tehnici de inspecție vizuală pentru identificarea imperfecțiunilor la sudare

Inspecția vizuală este o metodă importantă pentru identificarea imperfecțiunilor la sudare. Aceasta implică o examinare vizuală detaliată a sudurii și a zonei înconjurătoare pentru a detecta nereguli, defecte și imperfecțiuni.

Pregătire și curățare: Înainte de a începe inspecția vizuală, este necesar ca zona de sudură este curată și lipsită de orice resturi, vopsea sau contaminanți care ar putea ascunde imperfecțiunile. Poate fi necesară curățarea suprafeței cu o perie de sârmă sau un solvent adecvat.

Iluminare adecvată: Iluminarea adecvată este esențială pentru o inspecție vizuală precisă. Se utilizează o lumină puternică și difuză pentru a minimiza umbrele și reflexiile care pot ascunde imperfecțiunile.

Unghiul de observare: sudura se examinează din mai multe unghiuri, inclusiv vederi perpendiculare și oblice. Schimbarea unghiului de observare poate dezvălui imperfecțiuni care ar putea să nu fie vizibile dintr-o singură perspectivă.

Standarde de referință: sunt standarde de referință sau mostre de suduri acceptabile și inacceptabile disponibile pentru comparație. Aceste standarde pot ajuta la determinarea acestora dacă imperfecțiunile observate depășesc limitele acceptabile.

Instrumente de asistență vizuală: în funcție de dimensiunea și detaliul sudurii, se utilizează instrumente de ajutor vizual, cum ar fi lupe, binoclu, manometre sau boroscoape, pentru a îmbunătăți capacitatea de a identifica imperfecțiunile fine.

Inspecție sistematică: se utilizează o procedură de inspecție sistematică, examinând îmbinarea sudură într-o secvență structurată. Se începe de la un capăt până la sfârșitul sudurii, asigurându-vă că nici o zonă nu este trecută cu vederea.

Identificarea imperfecțiunilor acceptabile și inacceptabile: este nevoie de capacitatea de a face diferența între imperfecțiunile acceptabile, cum ar fi neregularitățile de suprafață, ondulațiile minore sau stropii, și defectele reale, cum ar fi fisurile, decuparea sau lipsa de fuziune, funcționează conform informațiilor furnizate în standardul corespunzător.

Cunoașterea proceselor de sudare: este necesară familiarizarea cu procesul de sudare specific utilizat, deoarece fiecare are caracteristici unice și potențiale imperfecțiuni sau defecte asociate acestuia. Înțelegerea procesului poate ajuta la identificarea defectelor.

Conformitatea codurilor și standardelor: este necesară cunoașterea codurilor și standardelor relevante ale industriei care specifică toleranțe acceptabile pentru imperfecțiunile de sudare. Respectarea acestor standarde este obligatorie.

Instruire și experiență: experiența joacă un rol important în a deveni competent în inspecția vizuală. Examinarea continuă, practica și expunerea la diferite tipuri de suduri și imperfecțiuni sporesc abilitățile de examinare vizuală.

Testare non-distructivă (NDT): trebuie știut când se completează inspecția vizuală cu tehnici NDT mai avansate, cum ar fi testarea radiografică, testarea cu ultrasunete, testarea particulelor

magnetice sau testarea colorantului penetrant, pentru o evaluare mai cuprinzătoare, în special în aplicații critice.

Proceduri de inspecție și bune practici

Procedurile de inspecție eficiente și cele mai bune practici sunt esențiale pentru a asigura evaluări exacte și complete ale sudurilor și ale altor materiale. Procedurile de inspecție adecvate contribuie la menținerea calității, a siguranței și a conformității cu standardele industriale.

Siguranță:

- Se acordă prioritate siguranței, purtând echipamente de protecție personală (PPE) adecvate, cum ar fi ochelari de protecție, mănuși, căști și îmbrăcăminte.
- Conștientizarea de orice pericole potențiale în mediul de inspecție, în special atunci când se fac inspecții în medii industriale.

Planificare și pregătire:

- Elaborarea unui plan de inspecție clar care să sublinieze domeniul de aplicare, obiectivele și criteriile de acceptare pentru inspecție.
- Pregătirea tuturor echipamentelor de inspecție, uneltele, standardele de referință și documentația necesare înainte de a începe inspecția.

Secvența de inspecție vizuală:

- Se urmărește o secvență sistematică, asigurând că toate zonele sudurii sunt examinate cu atenție.
- Se începe de la un capăt și se merge spre celălalt pentru a evita omiterea vreunei secțiuni.

Curățare și pregătire: Se asigură că suprafețele care urmează să fie inspectate sunt curate, fără contaminanți și pregătite corespunzător. Se îndepărtează murdăria, rugina, vopseaua sau alte resturi care ar putea ascunde imperfecțiunile.

Iluminat adecvat:

- Se folosesc condiții de iluminare adecvate care să asigure o iluminare corespunzătoare a zonei de inspecție.

- Se înclină lumina pentru a minimiza umbrele și reflexiile.

Ajutoare la inspecție: Se pot utiliza mijloace de inspecție adecvate, cum ar fi lupe, endoscoape și oglinzi pentru a spori vizibilitatea și accesul la zonele greu accesibile.

Raportarea și păstrarea înregistrărilor:

- Generarea de rapoarte de inspecție detaliate care să includă rezultatele inspecției, fotografiile, desene și orice recomandări pentru reparații sau acțiuni corective.
- Se păstrează o evidență completă a tuturor inspecțiilor pentru referințe ulterioare.

3.2.3 Examinarea macroscopică a îmbinărilor sudate

Examinarea macroscopică a îmbinărilor sudate este o tehnică de testare distructivă utilizată pentru a evalua vizual calitatea generală, integritatea și caracteristicile unei îmbinări sudate. Această metodă de inspecție implică o examinare vizuală detaliată a sudurii și a împrejurimilor sale imediate, folosind ochiul liber sau mijloace auxiliare cu putere de mărire redusă. Scopul principal al inspecției macroscopice este de a identifica și evalua defectele, neregulile sau discontinuitățile macroscopice ale sudurii, asigurându-se că aceasta îndeplinește standardele și cerințele specificate..

Pregătirea și evaluarea probelor macroscopice

Pregătirea epruvetelor pentru inspecția macroscopică implică pregătirea și secționarea cu atenție a unor eșantioane reprezentative ale îmbinărilor sudate sau ale componentelor care trebuie examinate. Scopul este de a crea secțiuni transversale care să permită o evaluare vizuală clară și detaliată a sudurii și a oricăror defecte potențiale. Etapele de pregătire a eșantioanelor de testare pentru inspecția macroscopică sunt următoarele:

Selectarea eșantioanelor reprezentative:: Se aleg eșantioane de testare care să reprezinte cu exactitate tipul de îmbinări sudate sau de componente care se dorește să fie inspectate. Eșantioanele trebuie să conțină sudurile sau zonele de interes.

Debitarea:



- Se utilizează un echipament de tăiere adecvat, cum ar fi un ferăstrău cu bandă, un ferăstrău de fierăstrău sau o roată de tăiere abrazivă, pentru a face tăieturi curate și precise în epruvetele de testare. Scopul este de a crea secțiuni transversale ale sudurilor sau componentelor.
- Se asigură că procesul de tăiere nu provoacă deteriorări sau defecte suplimentare pe epruvete.

Orientare:

- Marcarea epruvetele pentru a indica orientarea îmbinării sudate sau a zonei de interes. Acest lucru ajută la menținerea consecvenței în timpul inspecției și analizei.
- Dacă este posibil, epruvetele se debitează astfel încât să existe posibilitatea de a vizualiza atât cordonul de sudură, cât și materialul de bază adiacent și zona afectată termic (ZIT).

Înglobare: În funcție de mărimea și forma epruvetelor, este posibil să fie necesar ca probele să fie înglobate într-un material adecvat pentru a facilita manipularea, șlefuirea și lustruirea. Printre materialele de înglobare obișnuite se numără rășina epoxidică sau acrilică.

Șlefuirea: Se folosesc o serie de hârtii sau discuri abrazive cu granulație progresiv mai fină pentru a îndepărta excesul de material și a crea o suprafață plană și netedă pe epruvetele de testare. Această etapă este esențială pentru obținerea unei suprafețe lustruite care să permită o inspecție clară.

Lustruire: Se utilizează compuși de lustruire cu granulație fină sau pastă de diamant pentru a îmbunătăți și mai mult calitatea suprafeței. Se continuă lustruirea până când suprafața obținută are un finisaj ca oglinda.

Atacul cu reactivi (Opțional): În unele cazuri, aplicarea unui agent de decapare adecvat pe suprafața specimenului poate dezvălui detalii microstructurale și evidenția caracteristici precum limitele de sudură, structura granulară și prezența defectelor. Alegerea agentului de decapare depinde de materialul care se inspectează.

În cadrul inspecțiilor macroscopice, agenții de decapare sunt substanțe chimice utilizate pentru a dezvălui și evidenția detaliile microstructurale din materialele metalice. Acești agenți de decapare sunt aplicați pe suprafața epruvetelor de testare pregătite pentru a face diferența între diverși constituenți structurali, limite de granulație, faze și defecte potențiale. Alegerea

agentului de decapare depinde de materialul inspectat și de caracteristicile microstructurale specifice de interes.



Video 3.2.1: Tehnici macroscopice Partea 1.

Sursa: Prof. Dr. Ing. Rainer Schwab, Hochschule Karlsruhe, University of Applied Sciences,
Karlsruhe, Germany [<https://www.youtube.com/watch?v=fc8zrgYJCJw>]



Video 3.2.2: Tehnici macroscopice Partea 2.

Sursa: Prof. Dr. Ing. Rainer Schwab, Hochschule Karlsruhe, University of Applied Sciences,
Karlsruhe, Germany [<https://www.youtube.com/watch?v=UuHofNW40Yw&t=14s>]

Clasificarea agentilor de atac:

- 1. Nital (soluție de acid azotic):** Nitalul este un agent de atac utilizat în mod frecvent pentru a evidenția limitele granulelor și microstructura generală a materialelor feroase, cum ar fi oțelul. Constă de obicei din acid azotic (HNO_3) amestecat cu etanol sau metanol.
- 2. Agenții de atac Picral,** care constau din acid picric dizolvat în etanol sau metanol, sunt adesea utilizați pentru a dezvălui limitele granulelor în aluminiu și aliaje de aluminiu.
- 3. Reactivul Keller** este un amestec de acid azotic și alcool și este folosit în mod obișnuit pentru a dezvălui structura granulară și structura dendritică în aliajele de aluminiu și magneziu.
- 4. Reactivul Vilella** este un amestec de apă, acid clorhidric și acid azotic. Este utilizat pentru a dezvălui macrostructura cuprului și aliajelor de cupru.
- 5. Reactivul de marmură** este folosit pentru a ataca alamă și aliaje de cupru. Este compus dintr-o soluție de clorură de cupru în acid clorhidric.
- 6. Aqua Regia** este un amestec de acid azotic concentrat și acid clorhidric concentrat. Este folosită pentru a ataca aurul și unele metale din grupul de platinei pentru a evidenția caracteristici macroscopice.
- 7. Atacanții de hidroxid de sodiu** sunt utilizați pentru aluminiu și aliajele sale pentru a evidenția caracteristicile macroscopice. Acești atacanți constau în mod obișnuit dintr-o soluție de hidroxid de sodiu (NaOH) sau sodă caustică.
- 8. Reactivul Fry** este o combinație de acid acetic și peroxid de hidrogen și este folosit pentru a dezvălui macrostructura oțelului inoxidabil și a unor aliaje pe bază de nichel.
- 9. Nital-Ethanol** este un amestec de nital și etanol este adesea folosit pentru examinarea sudurilor, deoarece ajută la evidențierea structurii sudurii și a posibilelor defecte în zona sudurii.
- 10. Kalling No.2** este folosit pentru a dezvălui macrostructura fontelor.

Este esențial să fie ales atacantul potrivit în funcție de materialul inspectat și de caracteristicile macrostructurale specifice de interes. Procesul de atac trebuie controlat cu atenție pentru a obține rezultatele dorite fără a supra ataca sau deteriora proba. Trebuie respectate măsurile de siguranță corespunzătoare la manipularea agenților de atac, deoarece mulți dintre aceștia sunt corozivi sau potențial periculoși.

Curățarea: Se curăță probele pregătite pentru a îndepărta orice reziduuri din procesele de tăiere, rectificare și lustruire. Este necesară verificarea suprafeței pentru a fi lipsită de contaminanți.

Depozitare și etichetare:

- Etichetați în mod corespunzător fiecare proba cu informații esențiale, inclusiv data pregătirii, tipul eșantionului, orientarea și orice detalii relevante despre sudură sau componentă.
- Depozitați probele într-un mediu controlat pentru a preveni coroziunea sau degradarea până când sunt pregătite pentru inspecție.

Documentare: Mențineți înregistrări detaliate ale procesului de pregătire a probei, inclusiv fotografii și note, pentru a oferi un istoric complet al fiecărei probe de testare.

Odată ce eșantioanele de testat sunt pregătite, acestea sunt gata pentru inspecția macroscopică. În timpul inspecției, utilizați iluminarea adecvată, instrumente de mărire și proceduri de inspecție pentru a examina în detaliu secțiunile transversale și pentru a evalua calitatea sudurii și prezența oricărui defecte. Eșantioanele pregătite corespunzător sunt esențiale pentru obținerea unor rezultate de inspecție precise și fiabile.



Video 3.2.3: Pregătirea probelor de metalografie.

Sursa: <https://www.youtube.com/watch?v=ok42dVq2CU0>

3.2.4 Instruire practică în identificarea imperfecțiunilor sudurii

Identificarea imperfecțiunilor sudurii este o componentă fundamentală a asigurării calității, siguranței, fiabilității structurilor și componentelor sudate. Acest program de instruire practică oferă participanților abilitățile esențiale și cunoștințele necesare pentru identificarea imperfecțiunilor sudurii fără ajutorul unor instrumente sau tehnologii avansate. Programul este structurat pentru a oferi o înțelegere cuprinzătoare a imperfecțiunilor sudurii, tehnicilor de inspecție, măsurilor de siguranță și practicilor de documentare.

Programul de pregătire practică cuprinde mai multe componente cheie. În primul rând, participanților li se prezintă sarcina critică a identificării imperfecțiunilor sudurii și înțelegerea impactului lor structural potențial, oferindu-se o prezentare generală a imperfecțiunilor comune precum porozitatea și fisurile. Apoi, ei intră în lumea instrumentelor și echipamentelor de inspecție vizuală, învățând cum să utilizeze eficient instrumente precum iluminarea, lupele și cabinele de examinare pentru evaluări amănunțite. Sunt abordate cele mai bune practici pentru inspecții consistente și fiabile, urmate de o explorare detaliată a examinării macroscopice pentru a identifica imperfecțiunile sudurii. Exercițiile practice oferă o reală experiență în identificarea și caracterizarea imperfecțiunilor. De asemenea, programul ghidează participanții în examinarea probelor macroscopice și interpretarea rezultatelor pentru a face evaluări privind calitatea sudurii. Se pune accent pe importanța documentării precise și a raportării transparente, împreună cu respectarea măsurilor de siguranță, inclusiv cerințele pentru echipamente individuale de protecție (EIP) și măsuri de reducere a riscurilor în timpul inspecțiilor sudurii.

Practică directă cu tehnici de inspecție vizuală

1. Familiarizarea cu echipamentul de inspecție vizuală:

Participanții încep prin a se familiariza cu echipamentele și instrumentele de inspecție vizuală pe care le vor utiliza în timpul exercițiilor. Acestea includ iluminarea, lupa, oglinzile și cabina de examinare.

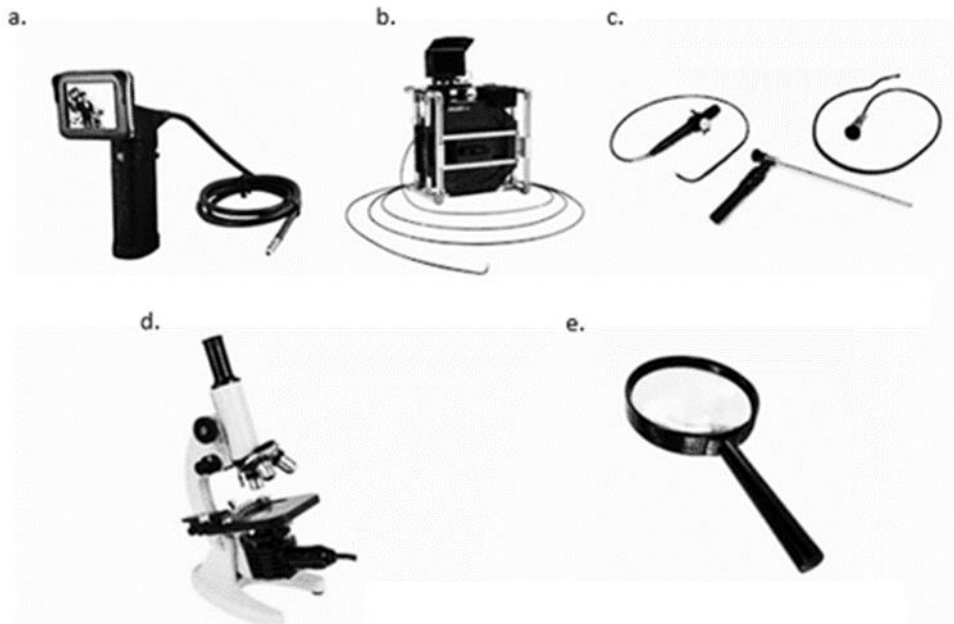


Fig 3.2.25: Videoscop (a); videoscop avansat (b); endoscoape(c); lupă (d); microscop (e).

Sursa: <https://worldofndt.com/introduction-to-visual-testing/>

2. Exemple de îmbinări sudate:

Pentru examinare sunt furnizate exemple fizice de îmbinări sudate sau probe cu imperfecțiuni de sudură introduse intenționat. Aceste probe reprezintă scenarii din lumea reală și servesc drept bază pentru practică.

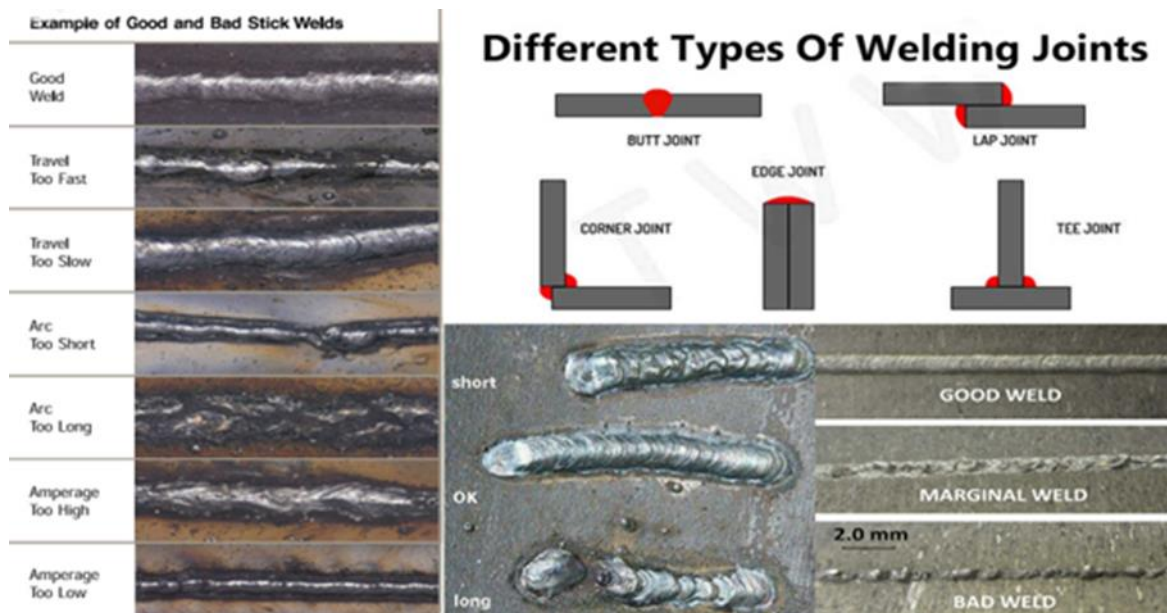


Fig. 3.2.26: Diferite tipuri de îmbinări sudate.

Sursa: <https://engineeringdiscoveries.com/different-types-of-welding-joints/>

3. Exerciții practice:



Participanții sunt ghidați printr-o serie de exerciții practice, fiecare concentrându-se pe aspecte specifice ale inspecției vizuale. Aceste exerciții pot include:

- **Identificarea porozității:** Participanții învață să recunoască și să diferențieze diferitele tipuri de porozitate, cum ar fi orificii mici, porozitatea suprafeței și porozitatea interioară. Ei exersează evaluarea gradului și severității porozității în suduri.



Fig. 3.2.27: Porozitate.

Sursa: <https://www.mechanicwiz.com/porosity-in-welding/>

- **Detectarea fisurilor:** Participanții exersează identificarea fisurilor, atât de suprafață, cât și la interior. Ei învață să distingă între tipurile de fisuri, cum ar fi fisurile longitudinale, transversale și crater.



Fig. 3.2.28: Crater.

Sursa: <https://www.rapiddirect.com/blog/types-of-welding-defects/>

- Lipsa fuziunii și penetrarea incompletă: Exercițiile implică identificarea zonelor în care a avut loc lipsa fuziune sau penetrare incompletă. Participanții evaluează consecințele acestor imperfecțiuni asupra calității sudurii.



Fig. 3.2.29: Lipsa de fuziune.

Sursa: <https://www.onestopndt.com/ndt-articles/what-is-lack-of-fusion-in-welds>



Fig. 3.2.30: Pătrundere incompletă.

Sursa: <https://allgas.us/b/what-are-welding-defects--types-causes-and-remedies>

Evaluarea fisurilor interne: Participanții învață să identifice fisurile interne, locația acestora în suduri și impactul său potențial asupra integrității structurale.



Fig. 3.2.31: Fisuri interne.

Sursa: <https://weldguru.com/undercut-in-welding/>

- **Examinarea profilului sudurii:** Participanții analizează profilele sudurilor pentru a se asigura că îndeplinesc standardele și dimensiunile specificate.



Video 3.2.4: Inspecția sudurii.

Sursa: <https://www.youtube.com/watch?v=nKHl7Jl9p7E>

4. Evaluarea severității:

Participanții nu numai că identifică imperfecțiunile, ci și determină evaluarea severității acestora. Acest lucru este crucial pentru a determina dacă o sudură este acceptabilă sau necesită acțiuni corective.



Fig. 3.2.32: Diferența dintre sudura bună și neacceptată, exemplu 1.

Sursa: <https://waterwelders.com/good-weld-vs-bad-weld/>



Fig. 3.2.33: Diferența dintre sudura bună și neacceptată, exemplu 2.

Sursa: <https://blog.daihen-usa.com/why-welding-parameters-are-so-important-to-finished-quality>

5. Practica de documentare:

Participanții își documentează constatările în timpul exercițiilor de inspecție. Aceasta include înregistrarea tipului și a locației imperfecțiunilor, a dimensiunilor acestora și a oricăror observații relevante.

YOUR LOGO GOES HERE **Organization:** Template Library
Project: Example Project
Team: Example Team **Template ID:** DP-QUAL-0017
Template Version: 4 Form Version: 2
Form created: Tuesday, 23 October 2018, 4:38:46 pm


Visual Weld Inspection

Automated Form Number: Template Library-Example Project-Example Team-DP-QUAL-0017 -3
Date: Tuesday, 03 April 2018, 12:00:00 am


Inspection Overview

Traveler No.	Item Description Part #	Acceptance Criteria	LR	Inspector	Type of Report	Welder ID
Nr-1010-8575	HA-706	W + 5/16 in. (8mm)	120-756	Jimmy Summers	Fit-up	N13090

Inspection Details

Defect No.	Defect Description	Sheet/Zone	Photo
12	Sig	1 of 2	 See full page photos attached at end of PDF
13	Hot tears	2 of 2	

Disposition: Have all defects been reported? Yes **Comments:** Reported back to project manager because impacts timeframe

Inspector's Signature:  Dave Hodgson, Tuesday, 23 October 2018, 4:28:50 pm

Key:

- P - Porosity
- LF - Lack of Fusion
- C - Crack
- UF - Underfill
- US - Undersized
- UC - Undercut
- CS - Cold Shut
- AS - Arc Strike

Generated with dshsoft.com Printed version is uncontrolled Page 1 of 3 This PDF was created at Tuesday, 23 October 2018, 4:38:23 pm

Fig. 3.2.34: Exemplu de practică de documentare 1/3. Sursa: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>

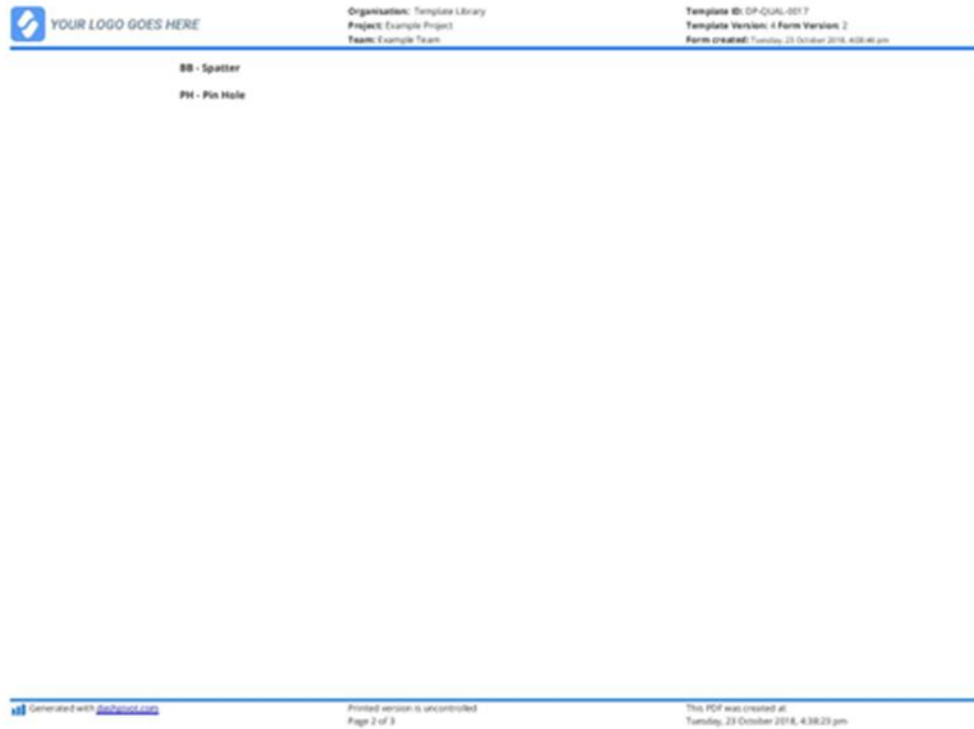


Fig. 3.2.35: Exemplu de practică de documentare 2/3.

Sursa: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>

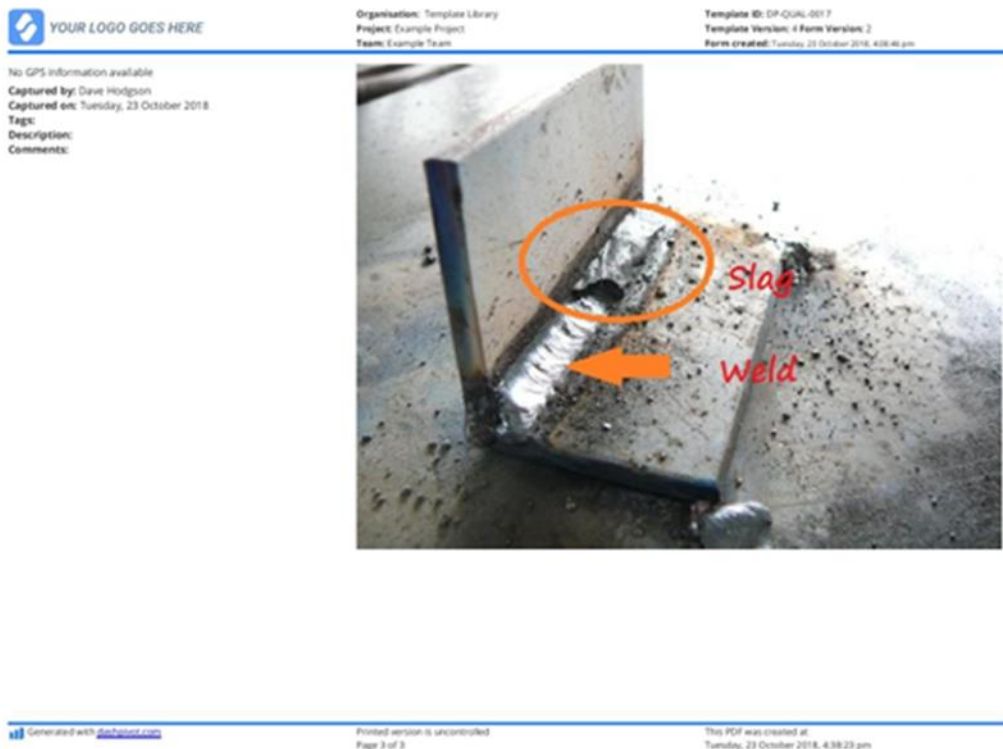


Fig. 3.2.36: Exemplu de practică de documentare 3/3.

Sursa: <https://sitemate.com/templates/quality/forms/visual-weld-inspection-template/>

6. Îndrumarea instructorului:

Pe parcursul exercițiilor, instructorii cu experiență oferă îndrumări, răspund la întrebări și oferă feedback pentru a ajuta participanții să-și îmbunătățească abilitățile de inspecție.

7. Recunoașterea și corectarea erorilor:

Participanții sunt încurajați să recunoască și să corecteze orice eroare pe care ar putea să o facă în timpul procesului de inspecție. Acest lucru promovează îmbunătățirea continuă și precizia.

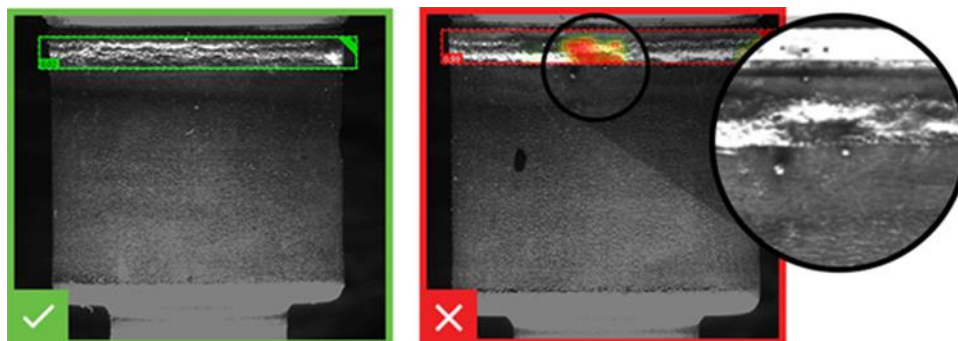


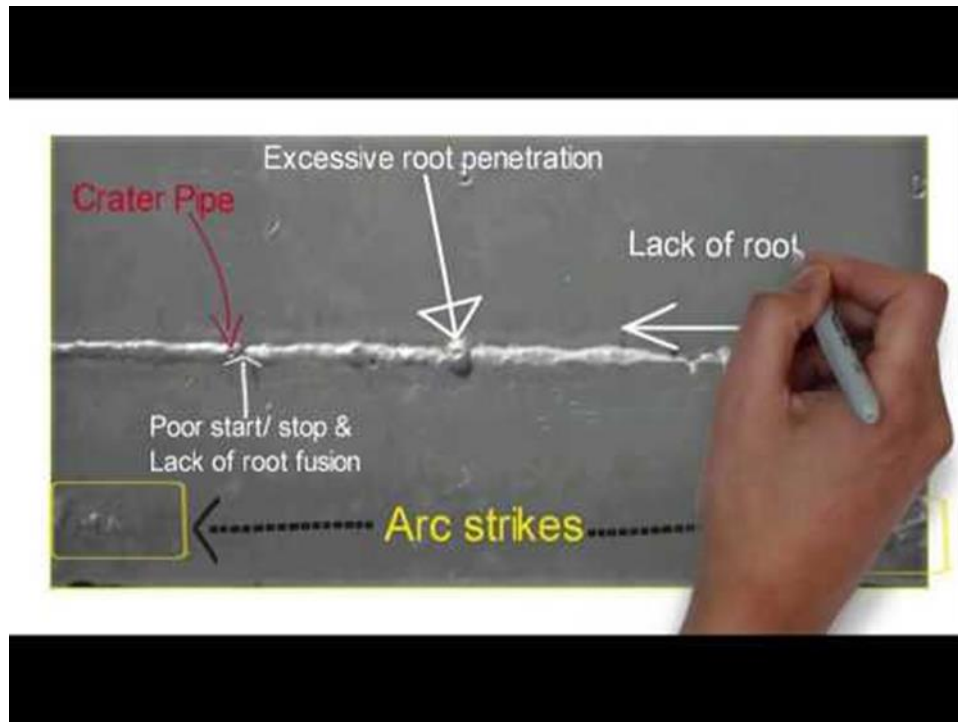
Fig. 3.2.37: Inspecția cordonului de sudură.

Sursa: <https://www.cognex.com/industries/automotive/powertrain-systems/welding-seam-inspection>

Examinarea și analiza macroscopică a probelor

Examinarea și analiza macroscopică a probelor, în special în contextul științei și ingineriei materialelor, implică inspecția vizuală amănunțită și evaluarea probelor sau componentelor pregătite pentru a colecta informații despre caracteristicile fizice, defectele și calitatea generală a acestora.

Procesul de examinare a materialului cuprinde mai multe etape cheie. Începe cu pregătirea probelor, implicând tăierea, montarea, șlefuirea și lustruirea pentru a asigura suprafețe bine pregătite pentru analiză. Ulterior, se efectuează o inspecție vizuală pentru a identifica caracteristicile și anomaliile vizibile. Poate urma examinarea microstructurală, folosind microscopie pentru a examina mărimea granulelor, limitele și compoziția materialului. Fotografiiile sunt luate pentru documentare, ceea ce se dovedește neprețuit pentru analiză și comparație ulterioară. Defectele, neregulile și dimensiunile sunt înregistrate cu meticulozitate, urmate de o evaluare a structurii generale și a stării suprafeței. Rezultatele sunt apoi comparate cu standardele, codurile și specificațiile din industrie, determinând conformitatea cu cerințele de calitate și siguranță. Pe baza acestei analize, se face o evaluare a adecvării speciemenelor pentru scopul propus. Este creat un raport de inspecție cuprinzător, care cuprinde descrieri, măsurători, fotografii și recomandări. În cele din urmă, speciemenele și documentația aferentă sunt arhivate și stocate pentru referințe ulterioare, menținând un sistem robust de control al calității și management al înregistrărilor.



Video 3.2.5: Defectele de sudare, aspectul și identificarea acestora.

Sursa: <https://www.youtube.com/watch?v=lgeUT5EIH5o>

3.2.5 Documentarea și raportarea imperfecțiunilor în sudură

Documentarea și raportarea imperfecțiunilor de sudură reprezintă aspecte esențiale ale controlului și asigurării calității în proiectele de sudare. Documentarea și raportarea corectă a imperfecțiunilor contribuie la asigurarea transparenței și conformității cu standardele industriale și specificațiile proiectului.

Ghid de documentare:

Începeți prin utilizarea formularelor sau șabloanelor standardizate create în scopul documentării imperfecțiunilor/defectelor de sudură. Aceste formulare cuprind de obicei câmpuri pentru detalii esențiale și liste de verificare pentru a identifica defectele prevalente.

Marcați în mod clar raportul de inspecție sau testare cu informații esențiale, care includ numele proiectului, locația, data, identitatea inspectorului și un identificator unic pentru proba examinată.

Faceți o remarcă specifică pentru fiecare imperfecțiune sau defect de sudură identificat. Această observație ar trebui să cuprindă informații specifice referitoare la tipul defectului, locul exact din sudură, dimensiuni și orice observații contextuale relevante.

Clasificați fiecare imperfecțiune/defect în conformitate cu standardele sau codurile recunoscute în industrie. Diferite defecte pot avea niveluri variate de severitate, iar această clasificare ajută la evaluarea impactului lor potențial asupra integrității structurale.

Includerea fotografiilor explicite sau documentare vizuală pentru fiecare imperfecțiune. Dovezile vizuale sunt adesea mai eficiente în elucidarea naturii și extinderii fiecărui defect.

Utilizați schițe sau diagrame pentru a reprezenta vizual poziționarea și măsurile imperfecțiunilor de sudură. Aceste ajutoare grafice îmbunătățesc înțelegerea.

Faceți referire la criteriile de acceptare sau standardele utilizate pentru evaluarea imperfecțiunilor. Acest lucru facilitează o determinare clară dacă defectul se încadrează în parametrii acceptabili.

Documentați metodele de inspecție și echipamentele utilizate pentru detectarea și măsurarea imperfecțiunilor de sudură. Această informație contextuală oferă o perspectivă asupra procesului de inspecție.

Propuneți recomandări pentru acțiuni corective, proceduri de reparare sau evaluări suplimentare bazate pe imperfecțiunile identificate. Aceste sugestii servesc ca și ghid în luarea deciziilor.

Includeți spații desemnate pentru semnătura inspectorului și orice avize obligatorii din partea părților relevante. Acest pas validează exactitatea raportului și autorizează acțiunile propuse.

Înaintează rapoartele de inspecție imediat după încheierea inspecției. Raportarea la timp asigură luarea măsurilor necesare fără întârzieri nejustificate.

Transmite constatările și recomandările tuturor părților interesate relevante, inclusiv sudorilor, supervizori, inginerilor și managerilor de proiect.

Stabilește un sistem eficient de stocare ordonată și arhivarea rapoartelor de inspecție și a documentelor conexe. Reținerea adecvată garantează accesibilitatea înregistrărilor istorice.

Mențineți o evidență cuprinzătoare a tuturor rapoartelor de inspecție, atât pentru referințe viitoare, cât și ca componentă integrantă a unei inițiative de control și asigurare a calității.

Examinați periodic rapoartele de inspecție pentru a identifica tendințele, problemele recurente sau domeniile în care pot fi aplicate îmbunătățiri ale procesului. Utilizați aceste informații pentru a perfecționa practicile de sudare.

Formate și cerințe de raportare

Formatele și cerințele de raportare pot varia considerabil în funcție de industria specifică, organizație și natura informațiilor raportate. Cu toate acestea, există unele elemente comune și considerații care se aplică multor tipuri de rapoarte.

- **Titlul copertă:** Rapoartele încep de obicei cu o pagină de titlu care include titlul raportului, data prezentării, numele autorului sau organizației și orice sigle relevante.
- **Rezumat executiv:** multe rapoarte încep cu un rezumat executiv, care oferă o prezentare concisă a principalelor constatări, recomandări și concluzii ale raportului. Este adesea prima secțiune pe care o citesc factorii de decizie.
- **Cuprins:** Un cuprins listează secțiunile și subsecțiunile majore ale raportului, împreună cu numerele paginilor. Ajută cititorii să navigheze cu ușurință în document.
- **Introducere:** stabilește baza pentru raport, explicându-i scopul, domeniul de aplicare și obiectivele acestuia. De asemenea, furnizează informații preliminare și context pentru conținutul raportului.
- **Metodologie:** în rapoartele tehnice sau de cercetare, secțiunea de metodologie explică modul în care datele au fost colectate, analizate și orice metode relevante de cercetare sau teste utilizate.
- **Constatări sau rezultate:** Această secțiune prezintă principalele constatări, rezultate sau observații ale raportului. De multe ori include date, grafice, diagrame sau alte mijloace vizuale pentru a susține constatările.

- **Discuție:** Această secțiune interpretează constatările și oferă analize. Poate aborda implicațiile rezultatelor, tendințele, comparațiile și orice teorii sau cadre relevante.
- **Recomandări:** În cazul în care este relevant, această secțiune trebuie să ofere recomandări clare și aplicabile bazate pe constatările raportului. Recomandările ar trebui să fie specifice, practice și aliniate cu obiectivele raportului.
- **Concluzie:** Rezumă principalele puncte ale raportului și reiterează concluzii ale principale. Consolidează principalele concluzii ale raportului.
- **Cerințe de formatare:** Respectați ghidurile de formatare, cum ar fi dimensiunea fontului, spațierea între linii, marginile și numerotarea paginilor. Coerența în formatare asigură un aspect profesional și tehnic.
- **Grafică și elemente vizuale:** Utilizați grafice, diagrame, tabele și alte elemente vizuale atunci când este cazul pentru a îmbunătăți prezentarea datelor și informațiilor. Asigurați-vă că imaginile sunt etichetate și numerotate corect.
- **Limbă și stil:** utilizați un limbaj clar, concis și mențineți un stil de scriere consecvent pe tot parcursul raportului. Evitați jargonul sau termenii tehnici care pot fi necunoscuți publicului țintă.
- **Considerații legate de public:** adaptați conținutul raportului, tonul și nivelul de detaliu tehnic la nevoile și așteptările publicului țintă.
- **Distribuție:** Stabiliți modul în care raportul va fi distribuit publicului țintă. Acest lucru poate implica distribuție electronică, copii fizice sau prezentări.

<p>www.inspection-for-industry.com Quality Control Form</p> <p>WELDING DAILY REPORT (PIPING)</p>		<p>Project:</p>														
<p>Client:</p>		<p>Report No.:</p>														
<p>Contractor:</p>		<p>Date:</p>														
<p>Ref. Standard:</p>		<p>Page 1 of 1</p>														
<p>Doc. No.:</p>																
<p>Area/Location:</p>		<p>Ref. Drawing:</p>														
		<p>Rev.:</p>														
Line No.	Spot No.	Joint No.	Joint Type	O.D.	Thk.	Welder (s) ID			Type of Material/Material Spec.		WPS No.	Pre-heat	PWHT	Fit up Report No.	VT Result	Remarks
						Root	Hot	Cap	to						
<p>Technical Comments:</p>																
<p>Abbreviation: Acc. : Accept Rej. : Reject RC : Re-Cap NA : Not Applicable B : Butt Weld, S : Socket Weld, T : Seal Weld (for Threaded Joints), M : Mixer For Example: Pipe / 5L X52 to Flange / A105</p>																
<p>Name: _____ Sign: _____ Date: _____</p>					<p>Name: _____ Sign: _____ Date: _____</p>					<p>Name: _____ Sign: _____ Date: _____</p>						

Fig. 3.2.38: Exemplu de șablon pentru raport de inspecție sudură.

Sursa: <https://in.pinterest.com/pin/welding-inspection-report-template-1-templates-example--504543964505475585/>

3.2.6 Măsurile de siguranță în timpul inspecției sudurii

Măsurile de siguranță în timpul inspecției sudurilor sunt critice pentru a asigura bunăstarea personalului implicat în procesul de inspecție. Operațiile de sudare pot produce condiții periculoase, iar inspecția

sudurilor, în special în medii industriale, necesită o atenție deosebită acordată protocoalele de siguranță.

Cerințe de siguranță:

- **Echipament de protecție personală (EIP):** trebuie purtat întotdeauna un EIP adecvat, inclusiv ochelari de protecție sau măști, cască de sudură sau vizieră, îmbrăcăminte rezistentă la flacări, mănuși și bocanci de siguranță cu vârf de oțel. Cerințele specifice privind EIP pot varia în funcție de mediul de inspecție.



Fig. 3.2.39. Echipament individual de protecție.

Sursa: <https://safetyculture.com/topics/ppe-safety/>

- **Protecția respiratorie și măsurile de ventilație** sunt esențiale atunci când mediul de lucru este expus la fum, gaze sau particule generate în timpul sudării. Măștile de protecție corespunzătoare trebuie să fie purtate pentru a face față tipului și nivelului specific de contaminați prezenți asigurându-se, în același timp, că în zona de inspecție se menține o ventilație bună pentru a reduce concentrația fumului de sudură, reducând astfel riscul expunerii prin inhalare.
- **Protecție împotriva zgomotului:** Procesele de sudare pot genera niveluri ridicate de zgomot. Este obligatoriu să se utilizeze protecție auditivă, cum ar fi dopuri de urechi sau căști auditive, pentru a preveni deteriorarea auzului.
- **Protecția ochilor:** Pentru a vă proteja împotriva pericolelor potențiale, cum ar fi particule în zbor, scântei și radiații ultraviolete (UV) sau infraroșii (IR), purtarea ochelarilor de sudură sau căștile cu lentile adecvate sunt esențiale.
- **Iluminare corespunzătoare:** Iluminarea adecvată este crucială pentru o inspecție precisă; zona de inspecție trebuie să fie bine iluminată; se recomandă utilizarea unei lămpi de lucru portabile sau a lămpilor de inspecție atunci când este necesar.
- **Siguranța electrică:** ar trebui luate în considerare pericolele electrice asociate cu echipamentele de sudare; cablurile de alimentare, prizele și conexiunile electrice trebuie inspectate pentru deteriorări. Împământarea corectă a echipamentelor de sudură este obligatorie.



- **Prevenirea căderii obiectelor:** În timpul lucrului la înălțime sau în poziții elevate, trebuie să utilizați echipamente de protecție împotriva căderii, cum ar fi hamurile și liniile de siguranță, pentru a preveni accidentele.
- **Manipularea sculelor și echipamentelor:** Uneltele și echipamentele trebuie utilizate cu atenție pentru a evita tăieturile, abraziunile sau rănilor; uneltele trebuie să fie menținute în bune condiții de lucru.
- **Siguranța la incendiu:** Pericolele de incendiu trebuie evitate; astfel, extincătorii trebuie să fie în apropierea spațiului de lucru, iar personalul trebuie să fie instruit cu privire la utilizarea lor; toate materialele inflamabile trebuie îndepărtate din spațiul de lucru.
- **Suprafețe fierbinți:** Componentele sudate și suprafețele învecinate pot deveni extrem de fierbinți, contactul cu aceste suprafețe trebuie evitat pentru a preveni arsurile; bariere termice sau materialele izolatoare trebuie utilizate când este necesar.
- **Acces în condiții de siguranță:** Trebuie asigurat accesul, în condiții de siguranță, în zonele de inspecție, utilizând platforme stabile, scări sau schele, după cum este necesar, pentru a ajunge la spațiile de lucru elevate.
- **Expunerea la substanțe chimice:** Substanțele chimice sau agenții de curățare utilizați în procesul de inspecție reprezintă potențiale pericole, de aceea se recomandă respectarea procedurilor adecvate de manipulare și eliminare, precum și purtarea mănușilor corespunzătoare atunci când este necesar.
- **Comunicare:** Este importantă o comunicare clară cu tot personalul din apropierea spațiului de lucru, se încurajează utilizarea semnalelor, indicatoarelor sau a comunicării verbale pentru a se asigura că toată lumea este conștientă activitățile în desfășurare.
- **Proceduri de urgență:** Personalul trebuie să fie familiarizat cu planul de intervenție în caz de urgență (localizarea ieșirilor de urgență, a truselor de prim ajutor, a stațiilor de spălare a ochilor și a dușurilor de urgență).
- **Instruire:** sunt esențiale actualizările regulate de instruire în domeniul siguranței; este obligatoriu ca personalul care operează în zona de lucru să primească o pregătire corespunzătoare în ceea ce privește siguranța la sudură și protocoalele de inspecție.
- **Evaluarea riscurilor:** Evaluarea riscurilor este necesară înainte de a iniția orice activitate, și anume, identificarea potențialelor pericole și implementarea măsurilor de control care vor atenua riscurile.

Cerințele pentru Echipamentul de Protecție Individuală (EIP)

Cerințele pentru echipamentul de protecție individuală (EIP) în cazul inspecției sudurilor, la fel ca și în cazul sudurii în sine, sunt cruciale pentru a asigura siguranța și bunăstarea persoanelor implicate în procesul de inspecție. Cerințele specifice pentru EIP pot varia în funcție de factori precum tipul de sudură inspectat, mediul de inspecție și pericolele potențiale prezente.

Protecție pentru ochi:

- Ochelari de protecție: aceștia protejează ochii de particulele în zbor, scântei și alte potențiale pericole pentru ochi.

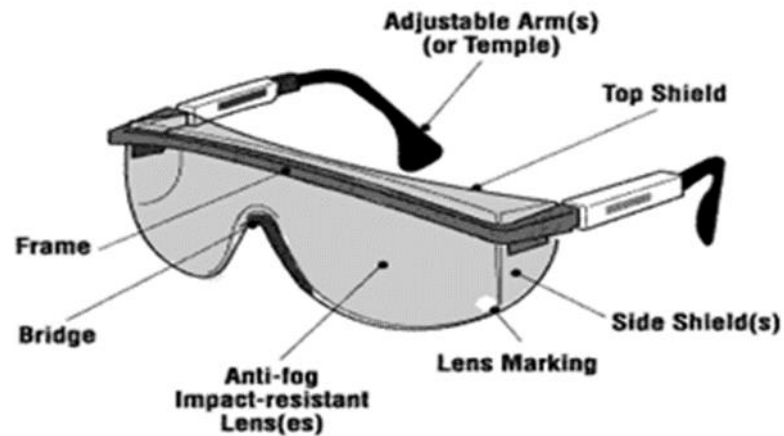


Fig. 3.2.40. Ochelari de sudură.

Sursa: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/glasses.html>

- Cască de sudură: o cască de sudură cu o lentilă adecvată protejează împotriva luminii intense, radiațiilor UV și IR generate în timpul inspecțiilor de sudare.

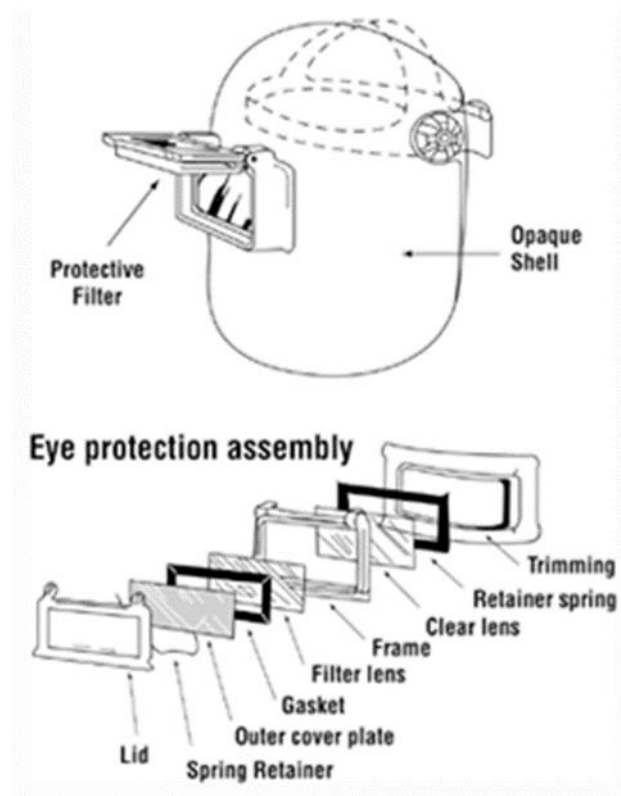


Fig. 3.2.41. Cască de sudură.

Sursa: https://www.ccohs.ca/oshanswers/safety_haz/welding/ppe.html



- **Ecran facial:** Atunci când este necesară o protecție suplimentară pentru față, se poate purta un ecran facial peste ochelarii de protecție sau ochelari.

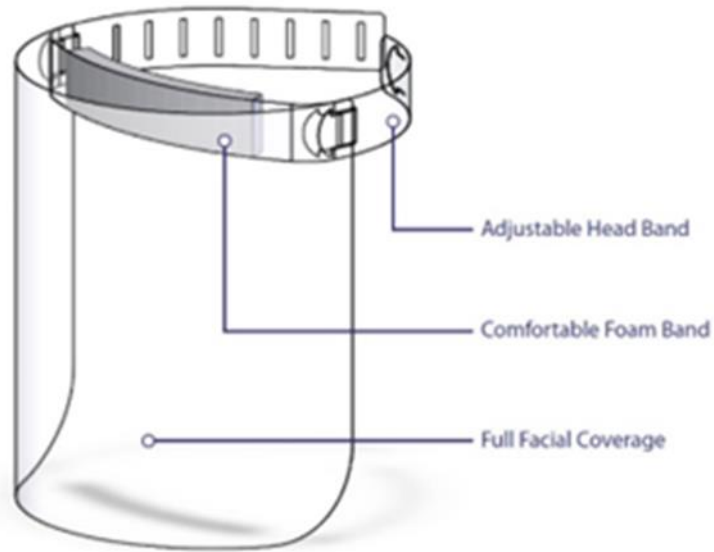


Fig. 3.2.42. Ecran facial.

Sursa: <https://www.ardentdisplays.com/protective-face-shields/>

Protecție respiratorie:

- Măști de protecție respiratorie: În funcție de mediul de inspecție, inspectorii de sudură pot avea nevoie de măști de protecție respiratorie pentru a se proteja împotriva fumului de sudură, gazelor sau particulelor. Tipul de mască respiratorie necesar depinde de contaminanții specifici prezenți.

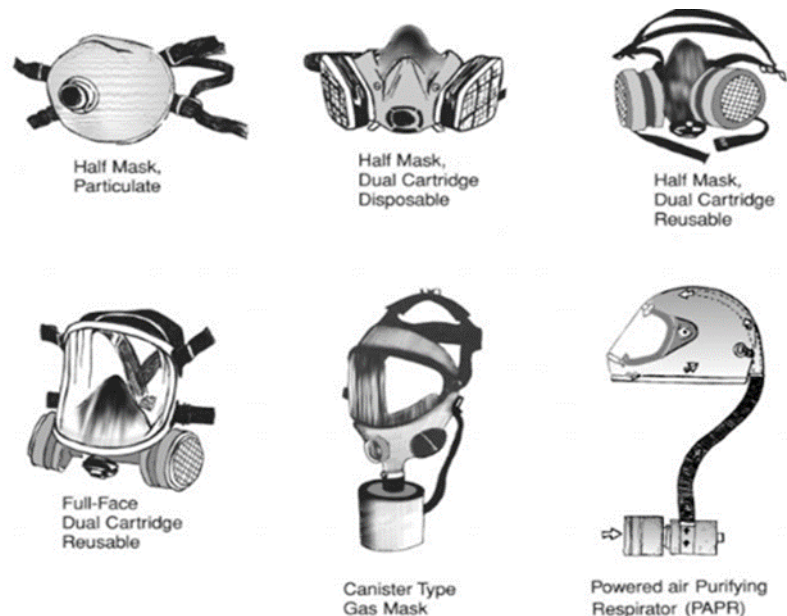


Fig. 3.2.43. Mască de protecție respiratorie.

Sursa: <https://pesticidestewardship.org/respirators/air-purifying-respirators/>

Protecție auditivă:



- **Dopuri auditive sau căști auditive:** inspecțiile de sudură pot avea loc în medii zgomotoase. Protecția auditivă contribuie la prevenirea deteriorării auzului cauzată de expunerea prelungită la niveluri ridicate de zgomot.

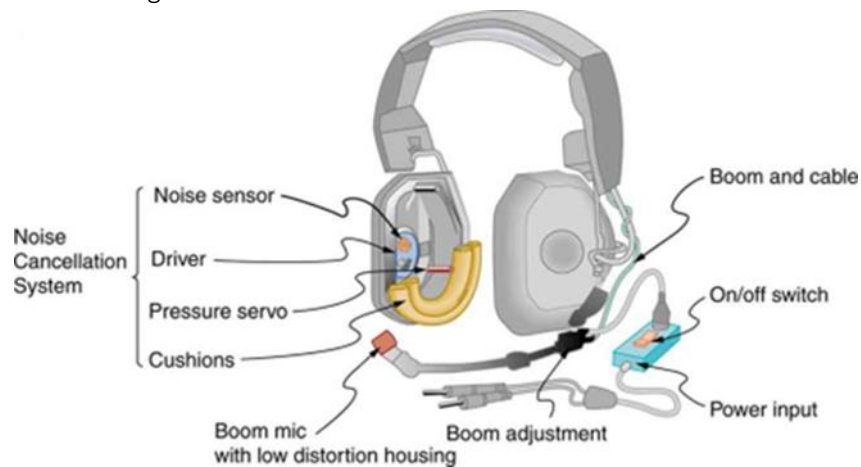


Fig. 3.2.44. Protecție auditivă cu căști sau dopuri auditive.

Sursa: <https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/ear-defenders-guide>

Protecția mâinilor

- **Mănuși de sudură:** Acestea sunt esențiale pentru protejarea mâinilor de arsuri, scânteii și suprafețe fierbinți. Mănușile izolate pot fi necesare pentru manipularea componentelor fierbinți.



Fig. 3.2.45. Mănuși de sudură.

Sursa: <https://www.amazon.de/YEZIHJ-Schwei%C3%9Fhandschuhe-H%C3%A4ndeschutzschwei%C3%9Fhandschuhe-Lederarbeitsschwei%C3%9Fferhandschuhe-Hitzebest%C3%A4ndiger/dp/B0B>

Protecție pentru corp:



- **Îmbrăcăminte rezistentă la flacără:** Inspectorii trebuie să poarte îmbrăcăminte rezistentă la flacără pentru a se proteja împotriva arsurilor și scânteilor. Aceasta include cămăși, pantaloni și salopete rezistente la flacără.

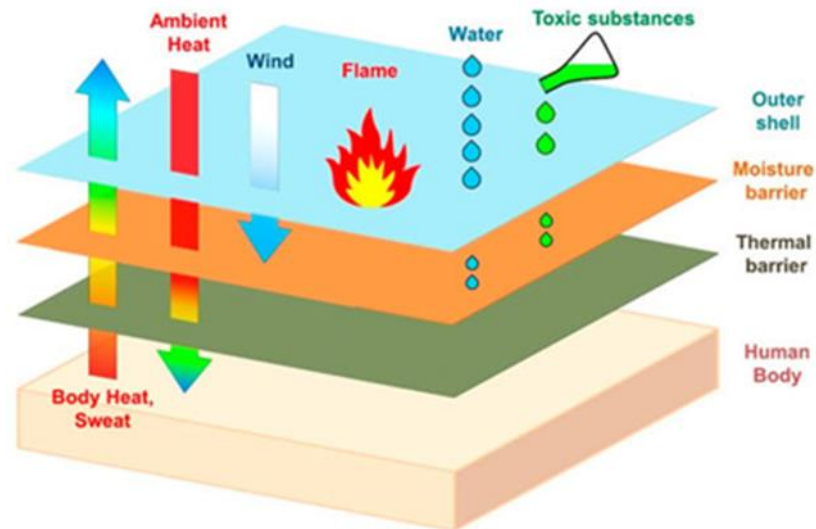


Fig. 3.2.46. Schema construcției unui ansamblu multistrat utilizat în îmbrăcăminte de protecție a pompierilor.

Sursa: Renard M, Puzkarz AK. Modelarea transferului de căldură prin îmbrăcăminte de protecție multicouche a pompierilor cu ajutorul dinamicii fluidelor computaționale asistate de microtomografie cu raze X și termografie. Materiale. 2022

- **Jachetă de sudură:** O jachetă de sudură oferă protecție suplimentară pentru partea superioară a corpului.



Fig. 3.2.47. Jachetă de sudură.

Sursa: <https://www.eskosafety.com/shop/esko-fusion-leather-welders-jacket/>

Protecție pentru picioare:

- **Bocanci de siguranță cu vârf de oțel:** Bocancii de siguranță cu vârf de oțel protejează picioarele de obiecte care cad și de metalul fierbinte.



Fig. 3.2.48. Bocanci de siguranță cu vârf de oțel.

Sursa: <https://www.ctcgroupe.com/en/your-markets/personal-protective-equipment/cemarking-current-footwear-ppe-and-standards-162-1.html>

Protecția capului:

- **Cască:** În medii cu pericole la nivelul capului sau cu risc de cădere a obiectelor, este necesară purtarea căștii de protecție .

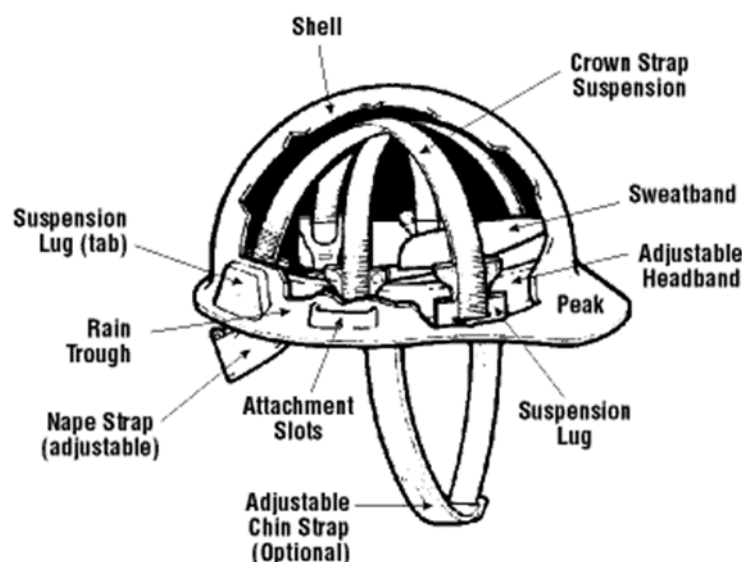


Fig. 3.2.49. Cască de protecție pentru sudură.

Sursa: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/prevention/ppe/headwear.html>

Protecție împotriva căderii:

- Dacă inspecția implică lucrul la înălțime, poate fi necesar un echipament de protecție împotriva căderii, cum ar fi un ham de siguranță și un cablu de legare.



Fig. 3.2.50. Componentele unui echipament de siguranță la înălțime.
Sursa: <https://www.karam.in/blog/revisiting-concept-fall-protection>

Este important de menționat că cerințele privind EIP pot varia în funcție de reglementările locale, standardele din industrie și politicile companiei. Înainte de a începe orice inspecție de sudură, persoanele implicate trebuie să primească instruire cu privire la utilizarea și întreținerea corectă a EIP, precum și să înțeleagă pericolele specifice asociate sarcinii de inspecție. În plus, EIP trebuie să fie întotdeauna în stare bună, verificat periodic și înlocuit în cazul deteriorării sau uzurii.

3.3. Training practic pentru pregătirea probelor (Mhte)

Trainingul practic pentru pregătirea materialelor comune este prezentată în conformitate cu metodologia prezentată în figura 1.2.2.

3.3.1. Oțeluri carbon

În cazul oțelurilor carbon, pregătirea trebuie să urmeze metodele de bază (vezi capitolul 1.2.1.). Mai jos este prezentat un exemplu de pregătirea oțelurilor carbon conform standardului ISO 16060:2003.

Prelevarea de probe: tăierea unei probe de dimensiuni potrivite (în funcție de montaj). Metodele adecvate de tăiere includ tăierea cu jet de apă, tăierea mecanică sub răcire etc. Figura 3.3.1. prezintă o mașină de tăiat folosită pentru teste de microscopie.



Figura 3.3.1.1. Metcon Servocut 302

Montaj: Montajul la cald sau montajul la rece este, de asemenea, potrivit (vezi capitolul 1.2.2.), diametrul cilindrului de montaj fiind de obicei de 25-50 mm. În timpul montajului la cald, trebuie respectat manualul mașinii de montat la cald. Un exemplu de mașină de montat la cald este prezentat în Figura 3.3.1.2.



Figura 3.3.1.2. Masina de montat la cald

În timpul procesului de montare la rece, trebuie respectat manualul materialului de montare (rășină cu două componente).



Figura 3.3.1.3. Exemplu de proces de montare la rece

Rectificare: în cazul rectificării sub răcire sub apă, utilizați o mașină de rectificat potrivită.

Rectificare fină: Utilizați hârtii sau foi de rectificat SiC cu granulație 200 -1000. În cazul rectificării manuale, urmați capitolul 1.2.5, iar pentru utilizarea mașinii de rectificat (fig. 3.3.1.4) consultați manualul de utilizare. Utilizați hârtii sau foi de rectificat în funcție de cerințele mașinii, cu aceeași granulație ca și în procesul de rectificare manuală.



Figura 3.3.1.4. Exemplu de mașină de rectificat

Polişarea: polisarea se realizează cu ajutorul unei maşini de polişat folosind un tampon de polizare cu particule de adeziv. Tamponul de polizat poate avea diferite forme și calități (pâslă, catifea, in, etc.). Abrazivul poate fi diamant sau alumina (9-0,05 μm) în suspensie apoasă.

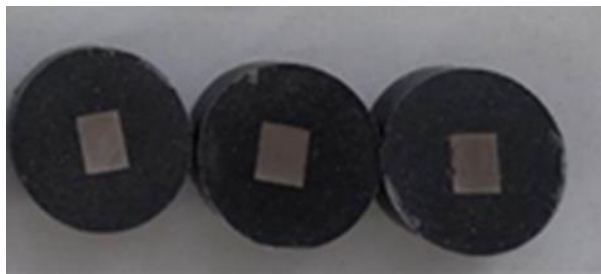


Figura 3.3.1.5. Probe de test polizate

Curățare: suprafața oțelului carbon trebuie curățată cu metanol pentru a îndepărta toată contaminarea și apa (vezi capitolul 1.2.4.)

Uscarea: uscarea trebuie să aibă loc într-un curent de aer blând.

Atac: se recomandă a se utilizare Nital (vezi Tabelul 1.2.8.1.)

3.2.7. Oțel inoxidabil austenitic

Pregătirea probelor de test din oțel inoxidabil este similară cu cea a oțelului carbon. Este necesară atenție la tăiere, deoarece oțelurile inoxidabile austenitice au o duritate redusă. Se recomandă tăierea cu jet de apă, dacă este disponibil. În timpul rectificării și lustruirii, pregătirea trebuie efectuată cu grijă pentru a menține microstructura oțelului inoxidabil austenitic. Pregătirea oțelului inoxidabil ar trebui să se facă conform standardului ISO 16060:2003.

Atac: se sugerează soluția de acid oxalic (vezi Tabelul 1.2.8.1.).

3.2.8. Cupru și aliaje

Pregătirea probelor de testare de cupru și aliaje este de obicei aceeași ca și pentru oțeluri și alte metale, dar în timpul lustruirii se recomandă utilizarea particulelor abrazive de diamant (3-0,05 μm). Procesul de curățare și uscare este același ca și în cazul oțelurilor carbon. Pregătirea cuprului și a aliajelor sale trebuie făcută conform ISO 16060:2003.

Atac: acid clorhidric sugerat-clorură de fier (vezi Tabelul 1.2.8.1.)

3.2.9. Aluminiu și aliaje

Pregătirea probelor de testare din aluminiu și aliajele acestuia este aceeași ca și în cazul oțelului carbon. Trebuie avut grijă la tăiere deoarece aluminiul și aliajele au duritate scăzută. Se recomandă tăierea cu jet de apă, dacă este disponibil. Realizați pregătirea pentru aluminiu conform ISO 16060:2003.

Atac: se sugerează atac Kroll (vezi Tabelul 1.2.8.1.).

3.2.10. Titan și aliaje

Pregătirea probelor de testare din titan și aliajele sale este de obicei aceeași ca pentru oțeluri și alte metale, dar în timpul lustruirii se recomandă utilizarea particulelor abrazive de diamant (3-0,05 μm). În ultima etapă de lustruire, trebuie utilizată suspensia de diamant combinată cu H_2O_2 . Procesul de

curățare și uscare este același ca și în cazul oțelurilor carbon. Realizați pregătirea pentru titan și aliaj conform ISO 16060:2003.

Atac: Atacul lui Keller (vezi Tabelul 1.2.8.1.).

3.3.6. Polimeri

Pregătirea probelor de polimeri este diferită de metale, prin urmare necesită o pregătire mai atentă.

Prelevarea de probe: Se găsesc o gamă largă de polimeri cu diferite durități la temperatura ambientului. Prin urmare, se recomandă tăierea polimerilor sub temperatura de tranziție a sticlei, care este în cazul polimerilor sudabili peste temperatura camerei. Pot fi utilizate metode mecanice de tăiere cu răcire cu apă sau tăiere manuală cu viteză redusă.

Montaj: Este foarte important să se cunoască temperatura de topire sau înmuiere a polimerului împreună cu temperatura de polimerizare. Temperatura de montare la cald trebuie să fie mai mică decât temperatura de polimerizare, înmuiere și topire a polimerului. Materialul de montare ar trebui ales în conformitate cu polimerul, astfel încât să nu existe nicio reacție chimică între ele. Procesul de montare ia în considerare capacitatea chimică și temperatura de reacție a materialului de montare.

Rectificare și rectificare fină: Utilizați hârtii sau foi de rectificat SiC cu granulații între 200 și 1000. În cazul rectificării manuale, urmați Capitolul 1.2.5. În cazul mașinii de rectificat, respectați manualul mașinii. Utilizați hârtii sau foi de rectificat în funcție de cerințele mașinii, cu aceeași granulație ca în procesul de rectificare manuală. Figura 3.3.1.4. arată o mașină de rectificat. Utilizați o viteză redusă de rotație în timpul pregătirii polimerului. Lustruire: lustruirea se face cu o mașină de lustruit, utilizați un tampon de lustruit cu particule de adeziv. Tamponele de lustruit pot fi sub mai multe forme și calitate (pâslă, catifea, in, etc.). Abrazivul poate fi diamant sau alumină (9-0,05 μ m) în suspensie de apă.

Lustruire: lustruirea se realizează cu ajutorul unei mașini de lustruit, folosind un tampon de lustruit cu particule adezive. Tamponul de lustruit poate avea diferite forme și calități (felt, catifea, in, etc.). Abrazivul poate fi din diamant sau aluminiu (9-0,05 μ m) în suspensie apoasă.

Curățare: doar curățarea cu apă.

Uscare: uscarea ar trebui să aibă loc într-un curent de aer ambiental (verificați temperatura camerei).

Atac: fără atac.

Referințe:

[3.3.1] Bramfitt B. L., Benschoter A. O.: Ghidul metalografului, practici și proceduri pentru fier și oțel. 1st. Ed. ASM International, Materials Park, 2002. 169-244.

[3.3.2] McCall J. L., Mueller W. M.: Pregătirea probelor metalografice, microscopie optică și electronică 1st. ed. Plenum Press, New York, 1973. 1-348.

[3.3.3] Vander Voort G. F.: Principii și practică metalografică. 4st. ed. ASM International, Materials Park, 2007. 1-258.

[3.3. 4] ISO/TR 16060:2003 - Încercări distructive la suduri în materiale metalice - Agenți pentru exminare macroscopică și microscopică, 2003

3.4. Standarde pentru evaluarea calității îmbinărilor realizate prin sudură și tehnici conexe

3.4.1. EN ISO 17639 Încercări distructive ale sudurilor din materiale metalice - Examinarea macroscopică și microscopică a sudurilor

Acest standard oferă recomandări pentru pregătirea probelor, procedurile de testare și principalele lor obiective pentru examinarea macroscopică și microscopică. Definește examinarea macroscopică și microscopică, așa cum este descris mai jos:

- examinare macroscopică: examinarea pentru probelor pregătite trebuie să fie făcută prin test vizual fără mărire sau cu mărire maximă de 50x. Suprafața examinată a probei poate fi atacată sau neatacată.
- examinare microscopică: examinarea probelor pregătite trebuie făcută cu ajutorul unui microscop și să utilizează o mărire între 50x - 500x. Suprafața examinată a probei poate fi atacată sau neatacată.

Standardul definește condiția personală, iar persoanele care efectuează testul sunt examinatorii.

Standardul oferă toate instrucțiunile pentru pregătirea probei de testare, inclusiv metodele de finisare a suprafeței și de atac cu agenții de atac specifici. Enumeră regulile de siguranță care trebuie respectate în timpul examinării. Examinarea suprafeței pregătite poate fi efectuată pe probe gravate sau negravate în conformitate cu standardele relevante. Standardul sugerează forma raportului experimental.

3.4.2. ISO/TR 15608 Sudare - Ghid pentru un sistem de grupare a materialelor metalice

Acest standard include un sistem uniform de clasificare a materialelor metalice destinate sudurii. Sistemul de grupare poate fi utilizat pentru tratament termic sau testarea materialelor.

Materialele menționate în acest standard includ: oțeluri, aluminiu și aliaje, cupru și aliaje, nichel și aliaje, titan și aliaje, zirconiu și aliaje, și fonte."

"Oțelurile sunt clasificate în funcție de rezistența minimă la rupere, pe baza proceselor de fabricație sau tratament termic și în funcție de conținutul de aliaj de crom și nichel sau în funcție de microstructură (de exemplu, austenită, feroasă, martensită).

Aluminiul, cuprul, nichelul, titanul, zirconiu și aliajele lor respective sunt clasificate în funcție de elementele de aliere. Fontele sunt clasificate în funcție de microstructură. Acest standard face referire la următoarele standarde ISO/TR 20172 Sudare - Sistem de grupare pentru materiale - Materiale europene, ISO/TR 20173 Sudare - Sistem de grupare pentru materiale - Materiale americane, ISO/TR 20174 Sudare - Sistem de grupare pentru materiale - Materiale japoneze."

3.4.3. ISO/TR 17671-2 Sudare - Recomandări pentru sudarea materialelor metalice - Partea 2: Sudarea cu arc electric a oțelurilor feritice

Acest standard oferă îndrumări pentru sudarea cu arc electric manuală, semi-mecanizată, mecanizată și automată a oțelurilor feritice, cu excepția oțelurilor feritice inoxidabile, în toate formele de produs. Detalii cu privire la fenomenele nefavorabile posibile care pot apărea sunt furnizate, împreună cu sfaturi privind metodele prin care pot fi evitate.

Această parte a ISO/TR 17671 este în general aplicabilă tuturor oțelurilor feritice și este potrivită indiferent de tipul de producție implicat, cu toate că standardul de aplicare poate avea cerințe suplimentare."

3.4.4. ISO/TR 16060 Încercări distructive la suduri în materiale metalice - Agenți de atac pentru examinare macroscopică și microscopică

Acest standard oferă o prezentare a celor mai importante materiale de atac (cu compoziția chimică) pentru examinarea macroscopică și microscopică a materialelor sudate în conformitate cu EN ISO 17639. Standardul propune metodele de pregătire a suprafeței înainte de atac și stabilește cerințe suplimentare."

3.4.5. EN ISO 17637 Încercarea nedistructivă a sudurilor - Testare vizuală a îmbinărilor sudate prin topire

Acest standard specifică testarea vizuală a sudurilor prin fuziune în materiale metalice. Poate fi aplicat și testării vizuale a îmbinării înainte de sudare. Testarea nedistructivă a sudurilor este aplicabilă la:

- Producători de îmbinări sudate prin fuziune
- Autorități de inspecție din diverse sectoare cum ar fi: construcții, industria auto, inginerie generală, aeronautică și navală
- Organizații autorizate pentru pregătire și calificare
- Organisme de certificare

"Acest standard asigură că testarea vizuală a sudurilor prin topire a materialelor metalice este uniformă și repetabilă, indiferent de procesele noi, practicile standard revizuite, echipamentele nou dezvoltate sau schimbările în materialele utilizate. Astfel, poate contribui la îmbunătățirea calității sudurilor prin testare vizuală precisă și eficientă a îmbinărilor sudate prin topire."

3.4.6. ISO 15614-1 Specificarea și calificarea procedeelelor de sudare pentru materiale metalice - Testarea procedurii de sudare - Partea 1: Sudarea cu arc și gaz a oțelurilor și sudarea cu arc a nichelului și aliajelor de nichel

"Acest standard specifică modul în care o specificație preliminară a procedurii de sudare este calificată prin teste de procedură de sudare. ISO 15614-1 se aplică sudării de producție, sudării de reparare și sudării de umplere. ISO 15614-1 definește condițiile pentru executarea testelor de procedură de sudare și gama de calificare pentru procedurile de sudare pentru toate operațiile practice de sudare în cadrul calificării acestui document.

Scopul principal al calificării procedurii de sudare este de a demonstra că procesul de îmbinare propus pentru construcție este capabil să producă îmbinări cu proprietățile mecanice necesare pentru aplicația prevăzută."

"Se furnizează două niveluri de teste de procedură de sudare pentru a extinde gama de aplicare la îmbinările sudate. La nivelul 2, testarea este mai extinsă, iar limitele de calificare sunt mai restricționate decât la nivelul 1. Testele de procedură efectuate la nivelul 2 se califică automat pentru cerințele nivelului 1, dar nu și invers. Atunci când într-un contract sau într-un standard de aplicare nu este specificat un nivel, se aplică toate cerințele nivelului 2.

Acest standard se aplică sudării cu arc și gaz a oțelurilor în toate formele de produs și sudării cu arc a nichelului și aliajelor de nichel în toate formele de produs.

"Sudarea cu arc și gaz este acoperită de următoarele procese în conformitate cu ISO 4063.

111 - sudare manuală cu arc electric (sudura metal-arc cu electrod acoperit);

- 114 - sudarea cu arc electric cu sârmă tubulară;
- 12 - sudarea cu arc electric submersat;
- 13 - sudarea cu arc electric cu protecție gazoasă;
- 14 - sudarea cu arc electric cu protecție gazoasă cu electrod nefuzibil;
- 15 - sudarea cu arc electric cu plasmă;
- 311 - sudarea cu oxigen-acetilenă.

"Principiile acestui document pot fi aplicate și altor procese de sudare prin topire.

Este important de menționat că un număr anterior de proces nu necesită un nou test de calificare conform acestui document. Specificațiile și calificările procedurilor de sudare realizate conform edițiilor anterioare ale acestui document pot fi utilizate pentru orice aplicație pentru care este specificată ediția curentă. În acest caz, gamele de calificare ale edițiilor anterioare rămân în continuare aplicabile.

Este de asemenea posibil să se creeze o nouă gamă de calificare a procedurii de sudare (WPQR - înregistrare de calificare a procedurii de sudare) conform acestei ediții, pe baza WPQR deja calificate, cu condiția ca intenția tehnică a cerințelor de testare din acest document să fie satisfăcută. În cazul în care teste suplimentare trebuie efectuate pentru a face calificarea tehnic echivalentă, este necesar doar să se efectueze testul suplimentar pe o piesă de test."

3.4.7. ISO 15614-2 Specificarea și calificarea procedurilor de sudare pentru materiale metalice - Testul procedurii de sudare - Partea 2: Sudarea cu arc a aluminiului și a aliajelor sale

"Acest standard specifică modul în care o specificație preliminară a procedurii de sudare este calificată prin teste de procedură de sudare. Se aplică la sudarea cu arc a aluminiului forjat și turnat și a aliajelor sale. Nu se aplică la sudarea finală a pieselor turnate din aluminiu, care este menționată în ISO 15614-4."

3.4.8. EN 10247 Examinarea microscopică a conținutului de incluziuni nemetalice a oțeluri folosind imagini standard

"Acest proiect de standard european definește o metodă de evaluare microscopică a incluziunilor endogene ne-metalice folosind diagrame cu imagini. Metoda nu se aplică particulelor cu o lungime sau diametru mai mic de 3,0 μm sau o lățime mai mică de 2,0 μm. Dacă este definită printr-un standard de produs sau printr-un acord între părțile implicate pentru anumite produse speciale, incluziunile cu o lățime sub 2,0 μm pot fi evaluate doar în funcție de lungime. Incluziunile cu dimensiuni care depășesc limitele superioare sunt rezumate în acest standard. Se presupune că, dacă particulele sunt alungite sau există șiruri de particule, acestea sunt paralele între ele. Alte aranjamente nu sunt acoperite de acest proiect de standard. Acest proiect de standard european se aplică probelor cu o precipitare microscopică apropiindu-se de o distribuție aleatoare.

Pe baza datelor de măsurare obținute prin această metodă, evaluarea conform altor standarde poate fi stabilită. Acest proiect de standard european nu se aplică oțelurilor de tăiere liberă. Este important de menționat că principiul de bază al acestui proiect de standard european permite determinarea conținutului de incluziuni ne-metalice prin tehnici de analiză a imaginii."

3.4.9. ISO 6520-1, Sudare și procese conexe - Clasificarea imperfecțiunilor geometrice la materialele metalice - Partea 1: Sudarea prin fuziune

"Acest standard servește ca bază pentru o clasificare precisă și o descriere a imperfecțiunilor sudurii. Pentru a evita orice confuzie, tipurile de imperfecțiuni sunt definite cu explicații și ilustrații atunci când este necesar. Imperfecțiunile metalurgice nu sunt incluse.

Un alt sistem pentru desemnarea imperfecțiunilor este posibil conform ISO/TS 17845. Se oferă o corespondență între clasificarea existentă a imperfecțiunilor conform ISO 6520-1 și sistemul de desemnare conform ISO/TS 17845."

3.4.10. ISO/TS 17845 Procese de sudare și procese conexe — Sistem de designare a imperfecțiunilor

Această normă furnizează un sistem pentru designarea imperfecțiunilor în procesele de sudare și cele conexe. Se aplică atât la materiale metalice, cât și la cele nemetalice (de exemplu, termoplastice). De asemenea, poate fi aplicată în alte scopuri (de exemplu, turnătorie).

3.4.11. ISO 6520-1 Procese de sudare și procese conexe — Clasificarea imperfecțiunilor geometrice în materiale metalice — Partea 1: Sudarea prin topire

Această normă servește ca bază pentru o clasificare și descriere precisă a imperfecțiunilor în sudură. În scopul evitării oricărei confuzii, tipurile de imperfecțiuni sunt definite cu explicații și ilustrații atunci când este necesar. Imperfecțiunile metalurgice nu sunt incluse. Un alt sistem pentru designarea imperfecțiunilor este posibil conform ISO/TS 17845. Se oferă o corespondență între clasificarea existentă a imperfecțiunilor conform ISO 6520-1 și sistemul de designare conform ISO/TS 17845.

Referinte:

[3.4.1] EN ISO 17637 Non-destructive testing of welds - Visual testing of fusion-welded joints

[3.4.2] EN ISO 17639:2022 Destructive tests on welds in metallic materials — Macroscopic and microscopic examination of welds 2022.

[3.4.3] ISO 15614-1:2017 Specification and qualification of welding procedures for metallic materials — Welding procedure test — Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.

[3.4.4] EN 10247 Micrographic examination of the non-metallic inclusion content of steels using standard pictures

[3.4.5] ISO 6520-1 Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding



3.4 Instruire practică pentru identificarea structurii microscopice a eșantionului.

3.5.1. Oțel aliat cu carbon redus

Oțelul aliat și cel cu conținut de carbon pot fi fabricate cu o gamă largă de proprietăți. Pentru a descrie aceste microstructuri, este necesar să se identifice constituenții prezenți. Constituenții de fază unică includ austenitul, ferritul, δ ferritul, cimentitul, diverse carburi de aliaj și martensitul, precum și diverse faze intermetalice, nitride și incluziuni nemetalice.

Grăunțele ferritice pot fi echiaxe sau alungite (în direcția laminării). În oțelul cu conținut de carbon, oțelurile complet ferritice sunt obținute doar atunci când conținutul de carbon este scăzut ($C < 0,08$ % în greutate). Ferrita este o fază moale cu rezistență scăzută, iar dacă dimensiunea grăunțelor este fină, atunci se obține o ductilitate și formabilitate bună.

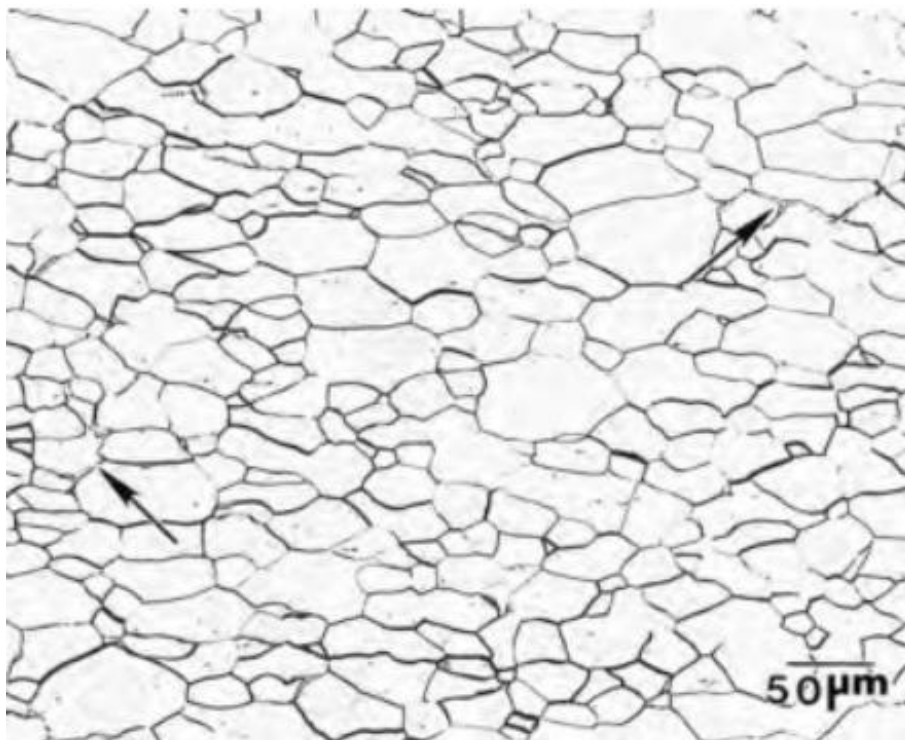


Fig. 3.5.1 – Oțel cu conținut redus de aliaj ($C < 0,08$ % în greutate). Structură complet ferritică. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

Majoritatea tipurilor de oțel nealiat, folosite în aplicații structurale sau sub presiune (conținutul de C între 0,08 și 0,4 % în greutate), constau în principal din ferrită și perlită. Cantitatea de perlită este indicativă calitativ a conținutului de carbon din aliaj. Un conținut mai mare de

carbon dincolo de limita de solubilitate a Fe (0,08 % în greutate) înseamnă o precipitare mai mare a cimentitei (Fe_3C) și, în consecință, o prezență mai mare de perlita (structură lamelară de cimentită și ferrită).

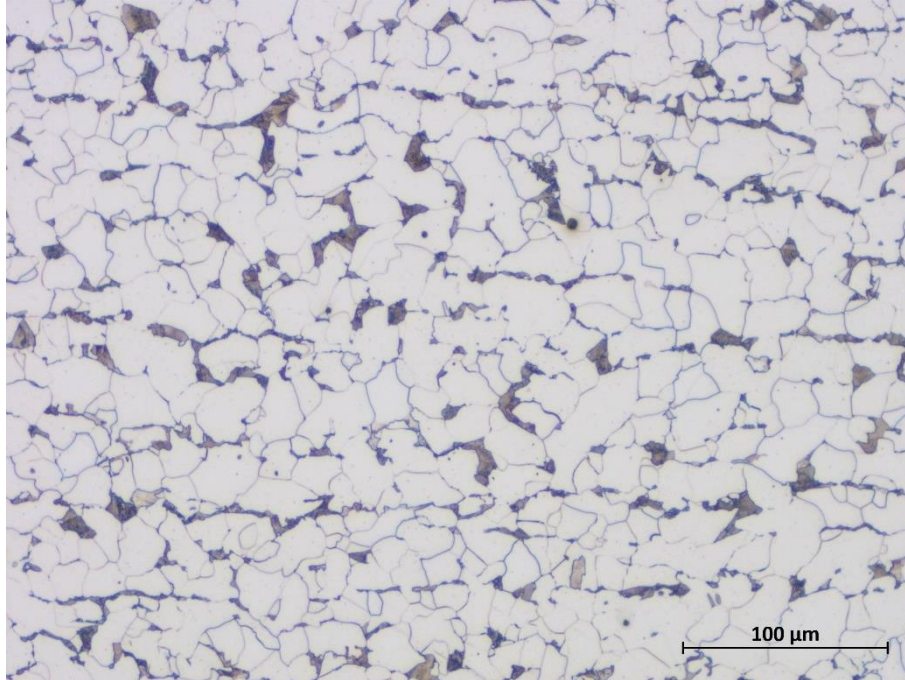


Fig. 3.5.2 –Oțel aliat pentru conducte de cazan și supraîncălzitor (C = 0,2 % în greutate). Ferrită și perlite. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

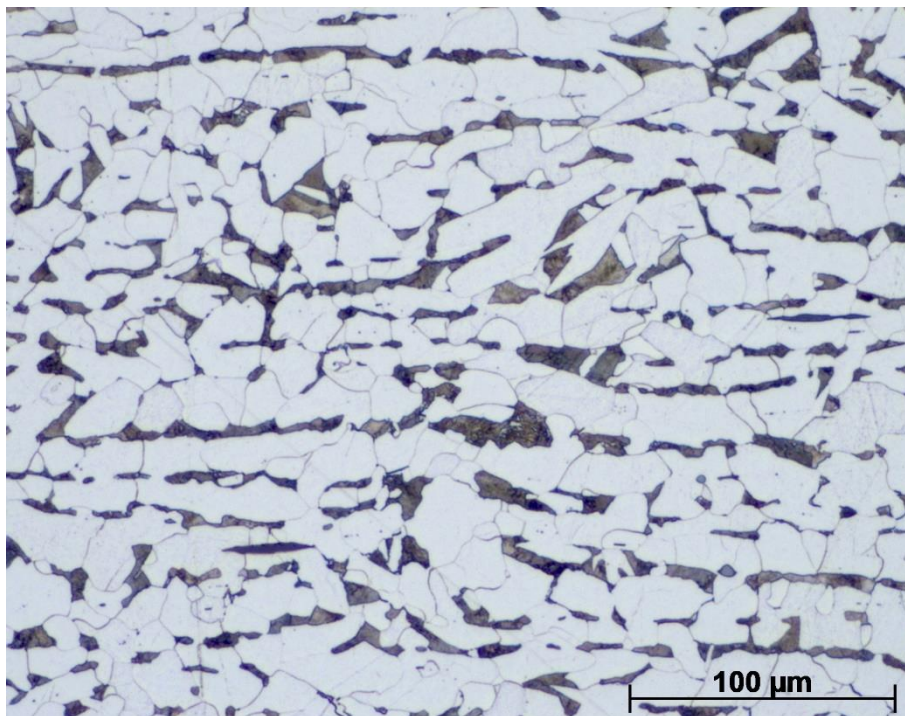


Fig. 3.5.3 – Oțel aliat pentru aplicații structurale de tip S355J0 (C = 0,25 % în greutate). Ferrită și perlită. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

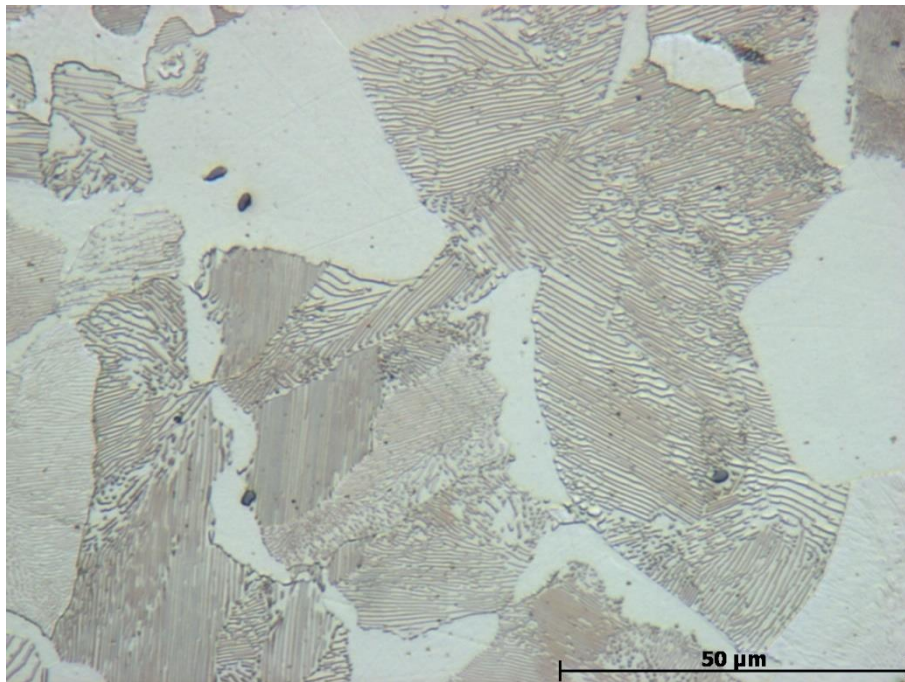
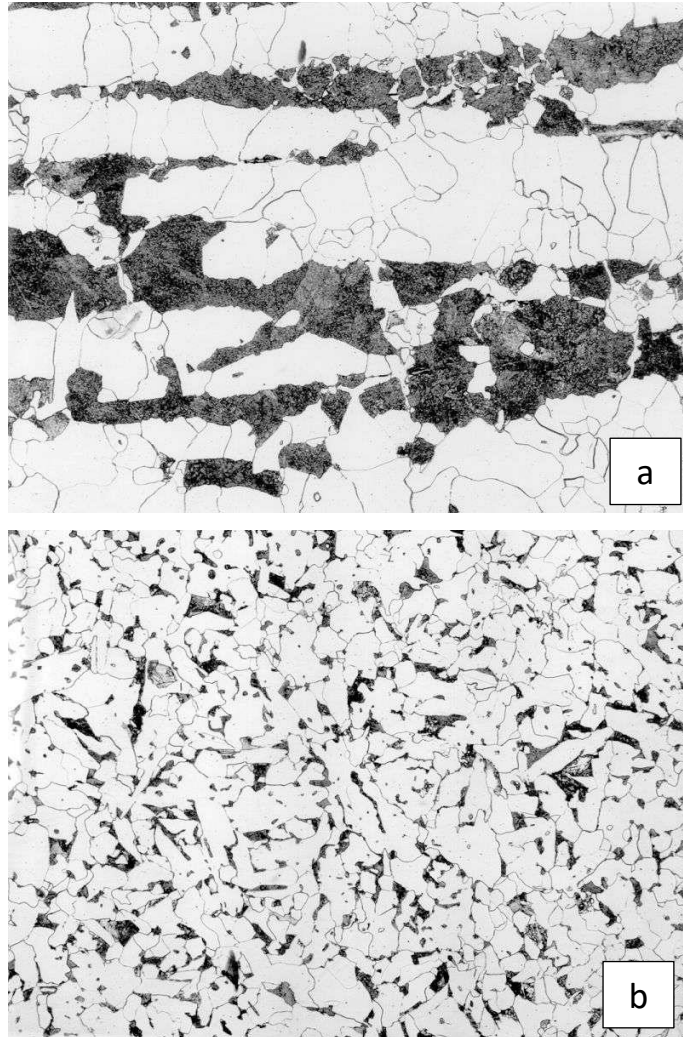


Fig. 3.5.4 – Detaliu al perlită la o magnificație mare (500x) – Perlita constă în lamele alternative de ferrită (alb) și cimentită (gri/maro). Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.



Fig. 3.5.5 – Detaliu al unui oțel cu conținut mediu de carbon de tip C45 ($C = 0,45\%$ în greutate) – Perlită și insule de ferrită. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

Formele alotropice diferite ale fierului și prezența carbonului și a altor elemente de aliere permit transformări ale structurii supuse ciclurilor termice datorită tratamentelor termice sau execuției sudurii.



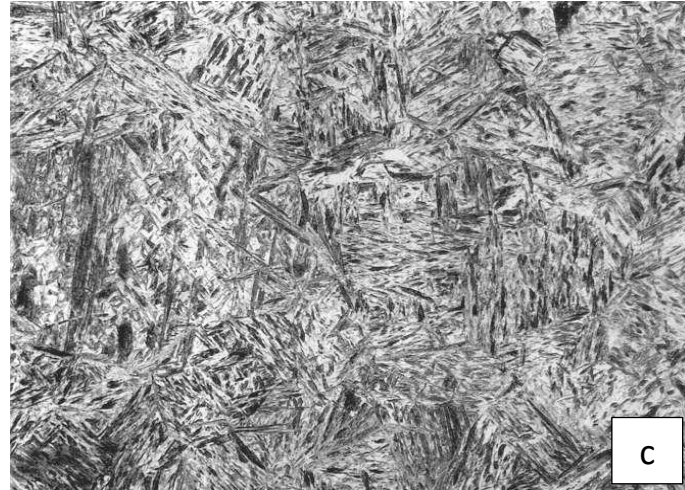


Fig. 3.5.6 – Detalii ale oțelului structural de tip S355J2 cu diferite tratamente termice. (a) Recristalizat; (b) Normalizat; (c) Calit. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

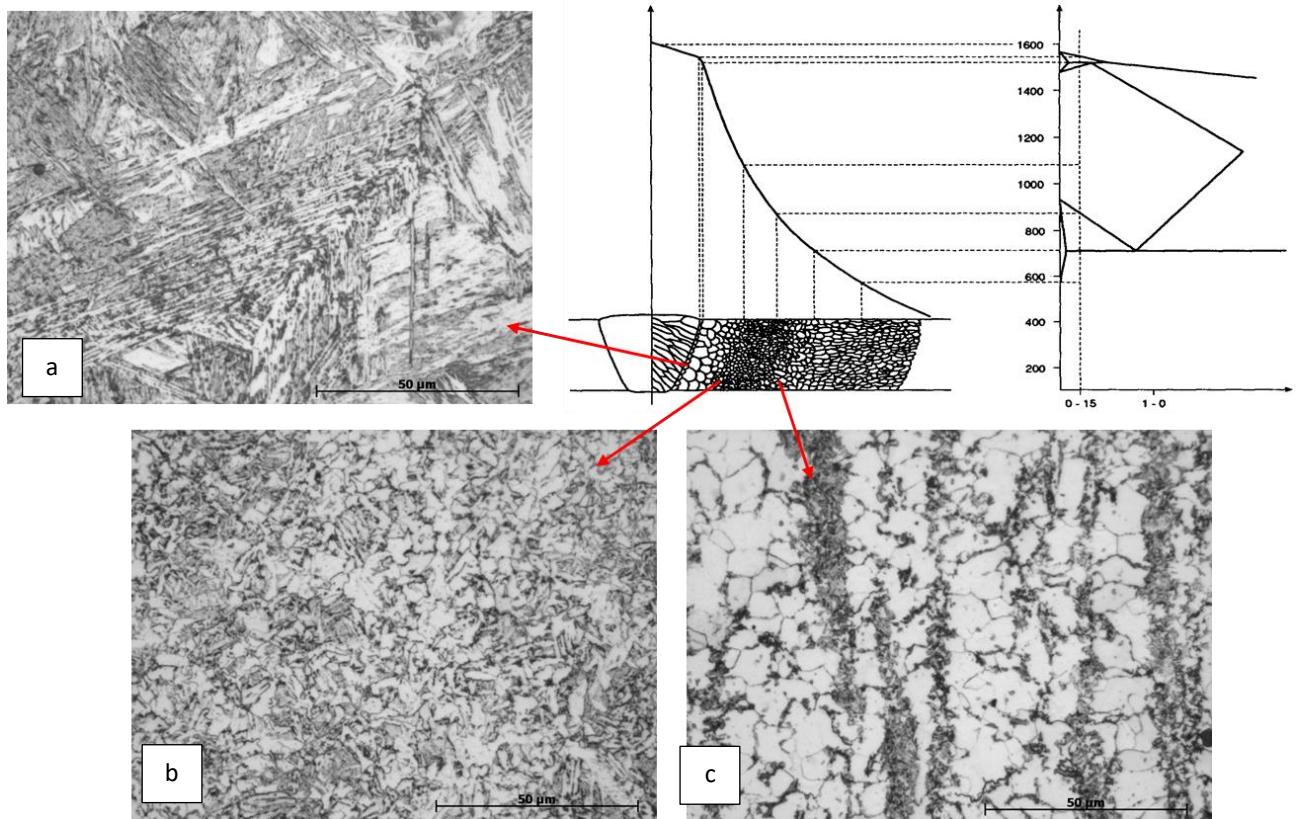


Fig. 3.5.7- Detalii ale zonei afectate termic a unei îmbinări de sudură din oțel cu conținut redus de aliaj. (A) Zonă cu granulație grosieră; (b) Zonă cu granulație fină; (c) Zonă cu transformare parțială- Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

3.4.1. Oțel inoxidabil austenitic



Prin adăugarea de elemente de aliere în oțel, echilibrul fazelor și structura finală pot fi modificate. Anumite elemente stabilizează faza ferritică (echivalentul de crom), în timp ce altele stabilizează faza austenitică (echivalentul de nichel). Cea mai importantă familie de oțeluri cu conținut ridicat de aliaje sunt oțelurile inoxidabile.

Dacă sunt prezente cantități mari de elemente care stabilizează austenita (carbon, nichel, mangan, azot), atunci austenita poate fi observată la temperaturi joase.

Oțelurile inoxidabile austenitice și oțelurile mangano-austenitice sunt aliaje complet austenitice. Acestea sunt aliaje de o singură fază. Austenita este, de asemenea, o fază moale cu rezistență scăzută; totuși, deformarea la rece produce întărire.

În oțelul inoxidabil austenitic (seria AISI 300), transformarea alotropică în stare solidă este suprimată, și nu există transformări datorate ciclurilor termice; astfel, se observă doar o mărire a granulei în zona afectată termic (ZAT).

În mod tipic, zona sudată are o structură dendritică cu aproximativ 5-10% delta ferrită. Prezența delta ferritei este foarte importantă, deoarece îmbunătățește rezistența la fisurarea la cald în timpul sudării.

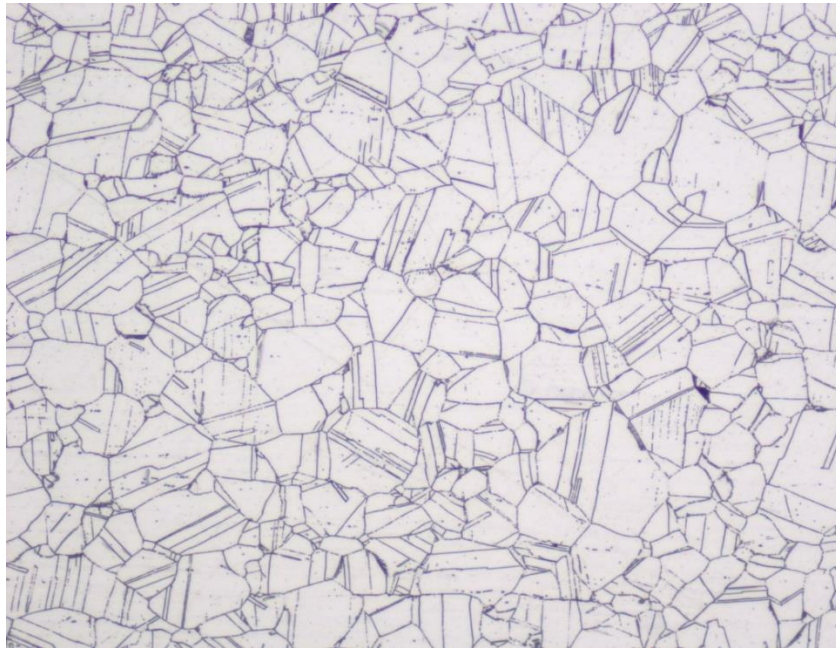




Fig. 3.5.8 – Detaliu al unei structuri complet austenitice (100x) – Granule austenitice poligonale. Agent de atac: Soluție oxalică electrolică. Sursa: Laboratorul IIS.

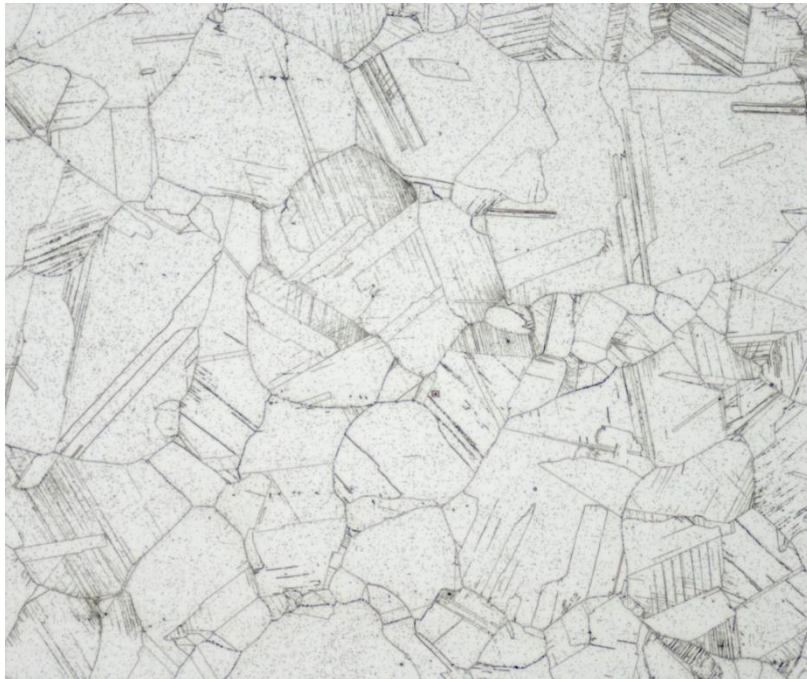


Fig. 3.5.9 – Detaliu al unei structuri complet austenitice (100x) cu semne de întărire – Granule austenitice poligonale. Agent de atac: Soluție oxalică electrolică. Sursa: Laboratorul IIS.

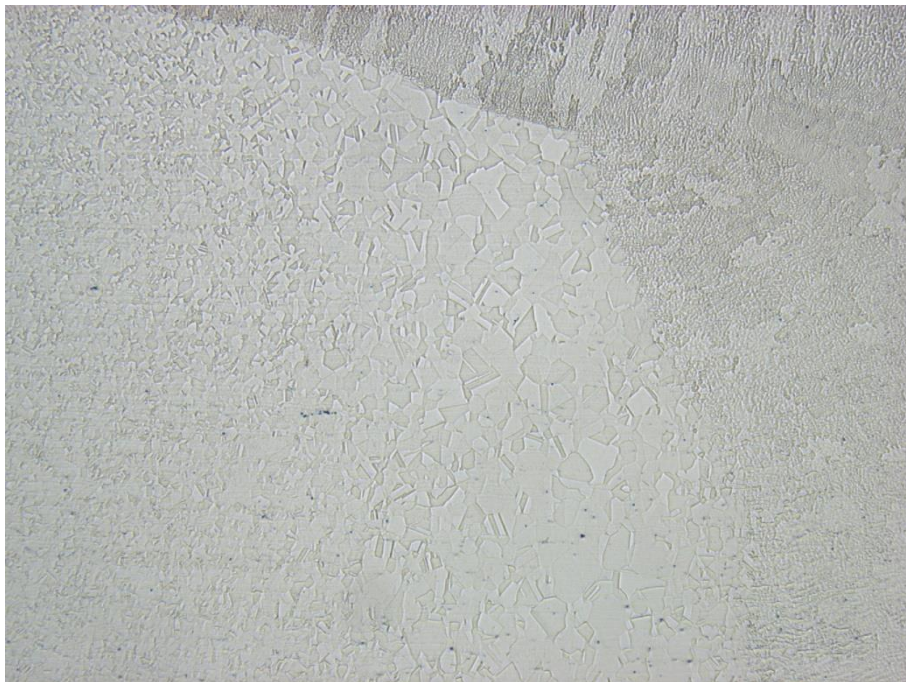


Fig. 3.5.10 – Zonă afectată termic (ZAT) a oțelului inoxidabil austenitic tip AISI 316 (25x). Granule mărite în ZAT. Sursa: Laboratorul IIS.

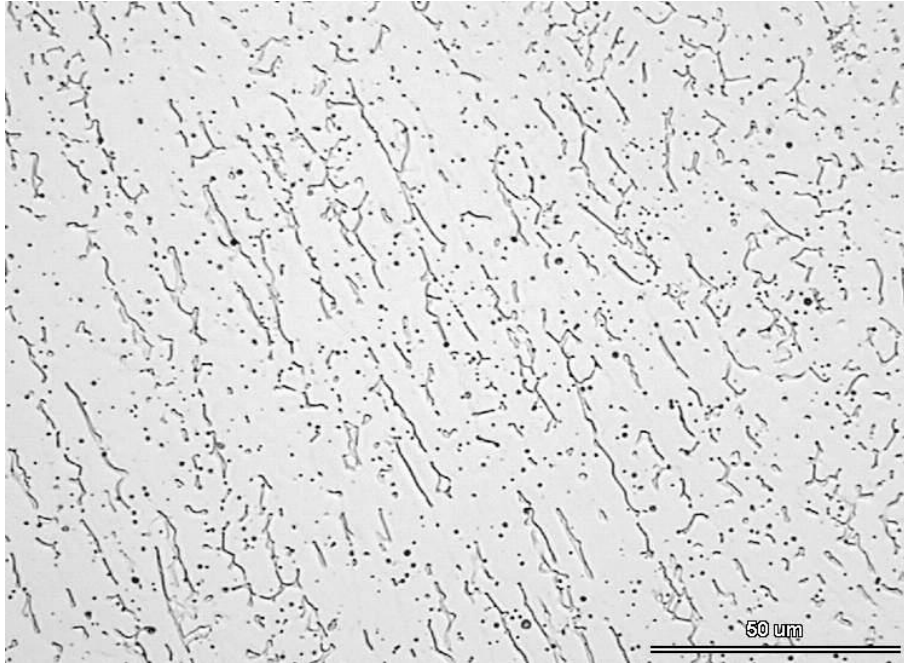


Fig. 3.5.11 – Zonă de sudură (WZ) a oțelului inoxidabil austenitic tip AISI 304. Structură dendritică de austenită cu delta ferrită. Agent de atac: Soluție oxalică electrolică. Sursa: Laboratorul IIS.

Oțelurile inoxidabile austenitice pot deveni sensibilizate dacă sunt tratate termic sau utilizate la temperaturi cuprinse între 500 și 850°C. Zonele afectate termic ale sudurilor pot fi, de asemenea, sensibilizate în anumite circumstanțe. Carburații de crom sunt vizibili sub formă de puncte întunecate la granițele de grăunțe.

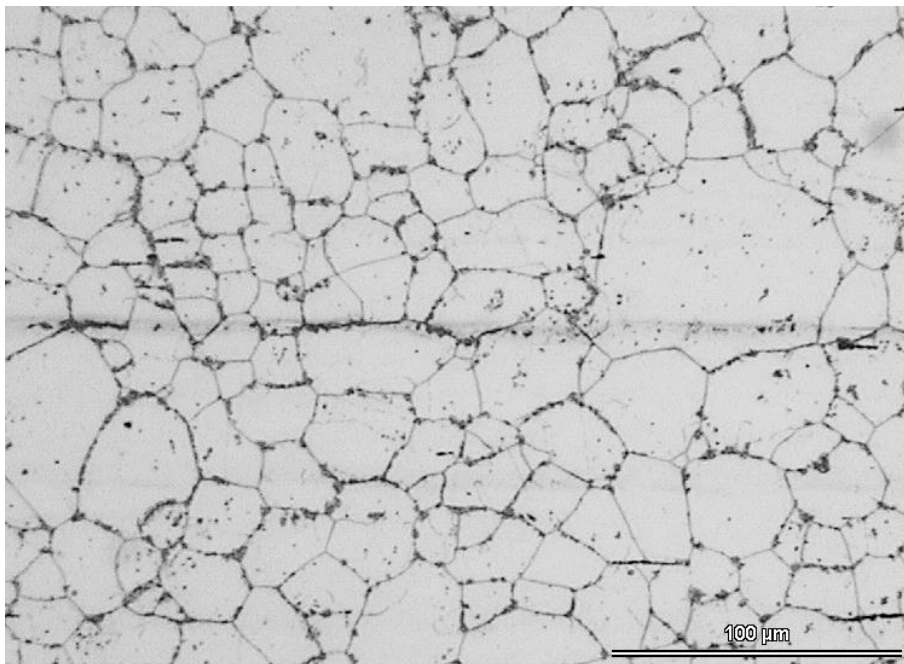




Fig. 3.5.12 – Detaliu al unei structuri complet austenitice (200x) cu carburi de crom la granițele de grăunțe (sensibilizare). Agent de atac: Soluție oxalică electrolică. Sursa: Laboratorul IIS.

Faza sigma este o fază intermetallică nemagnetică compusă în principal din fier și crom, care se formează în oțelurile ferritice și austenitice inoxidabile în timpul expunerii prelungite la temperaturi cuprinse între 550 și 950 °C. Acest fenomen apare în timpul funcționării sau tratamentelor termice și nu în timpul sudurii.

Faza sigma este dură și fragilă, iar prezența sa în oțelurile inoxidabile este, de obicei, nedorită. Prin atac electrolic cu o soluție alcalină caustică (de exemplu, soluție de NaOH sau KOH), putem detecta faza sigma, evidențiind morfologii globulare dispersate.

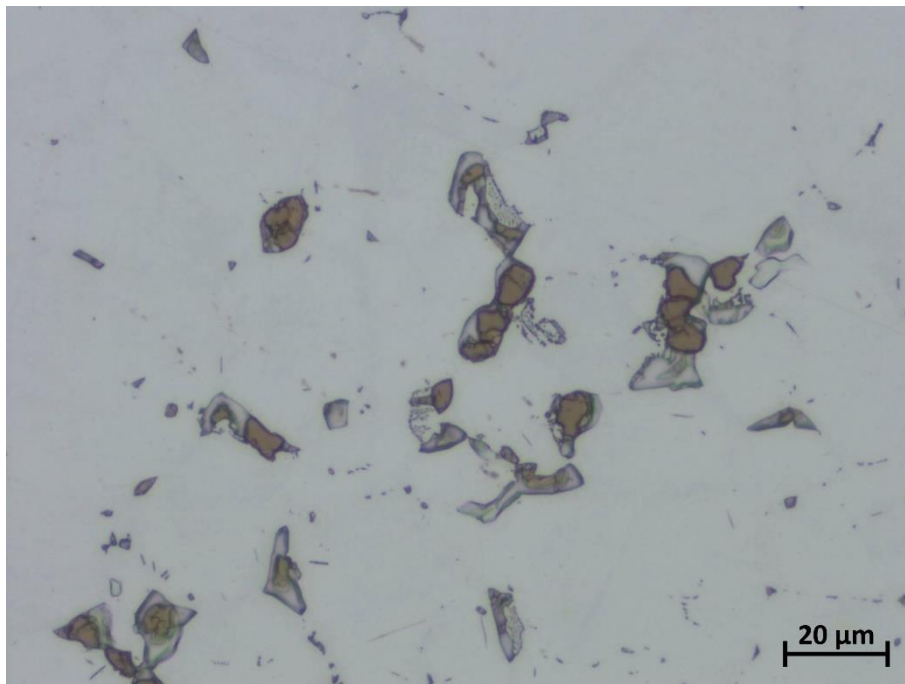


Fig. 3.5.13 – Faza sigma în oțel inoxidabil austenitic tip 304H. Agent de atac: Soluție electrolică de NaOH. Sursa: Laboratorul IIS.

3.4.2 Oțel inoxidabil duplex

Oțelurile inoxidabile duplex se bazează pe sistemul de aliere Fe-Cr-Ni-N. Compoziția chimică a acestor aliaje a fost ajustată astfel încât microstructura de bază a metalului să conștie în general în aproximativ 50% ferrită și 50% austenită.

Datorită alierii complexe a granelor duplex, pot să apară mai multe reacții de precipitare într-un interval de temperaturi de sub aproximativ 1000 °C. Multe dintre aceste precipitate fragilizează aliajele duplex și trebuie evitate. Acestea includ sigma (σ), chi și alpha (α) prime, precum și nitridele de crom.

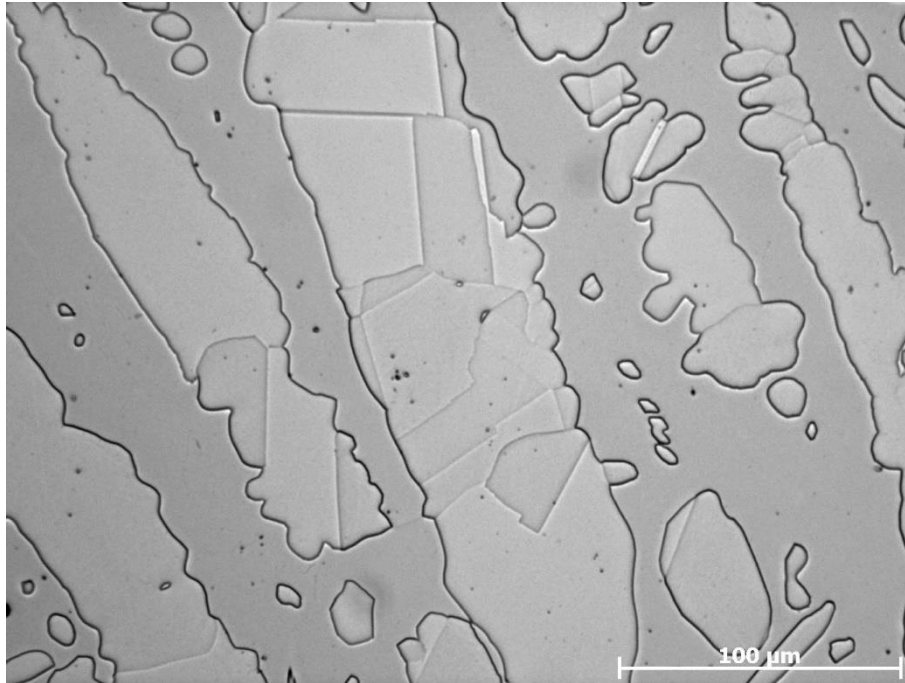


Fig. 3.5.14 – Oțel inoxidabil duplex – structură bifazică de ferrită și austenită. Agent de atac: Soluție oxalică electrolică. Sursa: Laboratorul IIS.

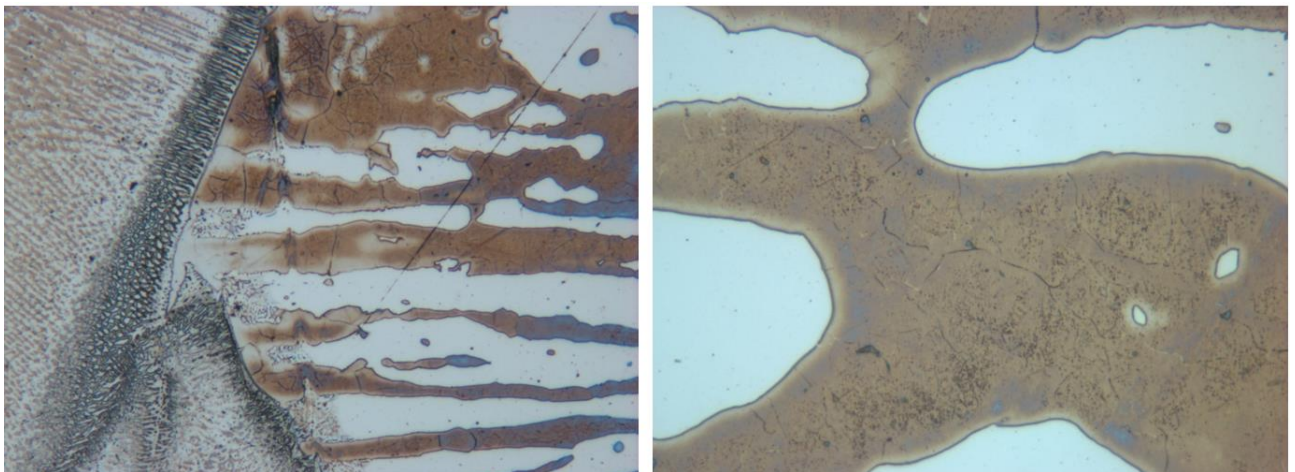


Fig. 3.5.15 – Detalii ale zonei afectate termic (ZAT) a unui oțel inoxidabil duplex (2205). Prezența nitraților de crom intragranulari în faza ferritică. Agent de atac: Soluție electrolică de NaOH. Sursa: Laboratorul IIS.



3.4.3 Structura martensitică

Martensita este termenul generic pentru microstructurile formate prin transformare de fază fără difuzie. Transformările martensitice apar în oțel și aliaje pe bază de fier, precum și în mai multe sisteme neferoase. De obicei, martensita este produsă în oțel sau aliaje pe bază de fier prin răcire rapidă a austenitei și se formează printr-un mecanism de tăiere. Structura finală este fină și aciculară; în unele cazuri, este posibil să se observe granița primară a grăunțelor austenitice.

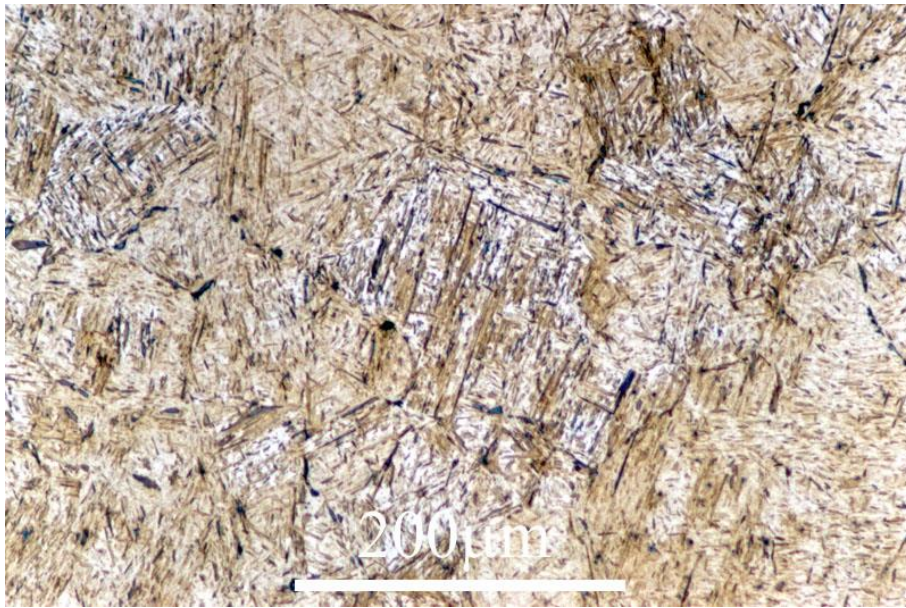


Fig. 3.5.16 – Detalii ale oțelului aliat temperat cu conținut mediu de carbon. Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

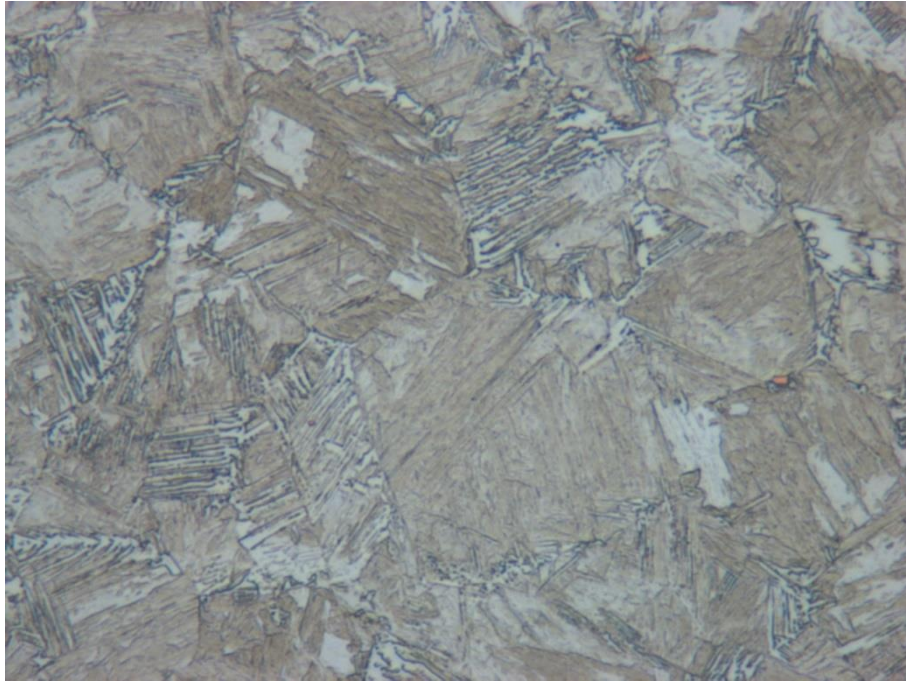


Fig. 3.5.17 – Detalii ale oțelului aliat cu crom și molibden (P91). Agent de atac: Vilella. Sursa: Laboratorul IIS.

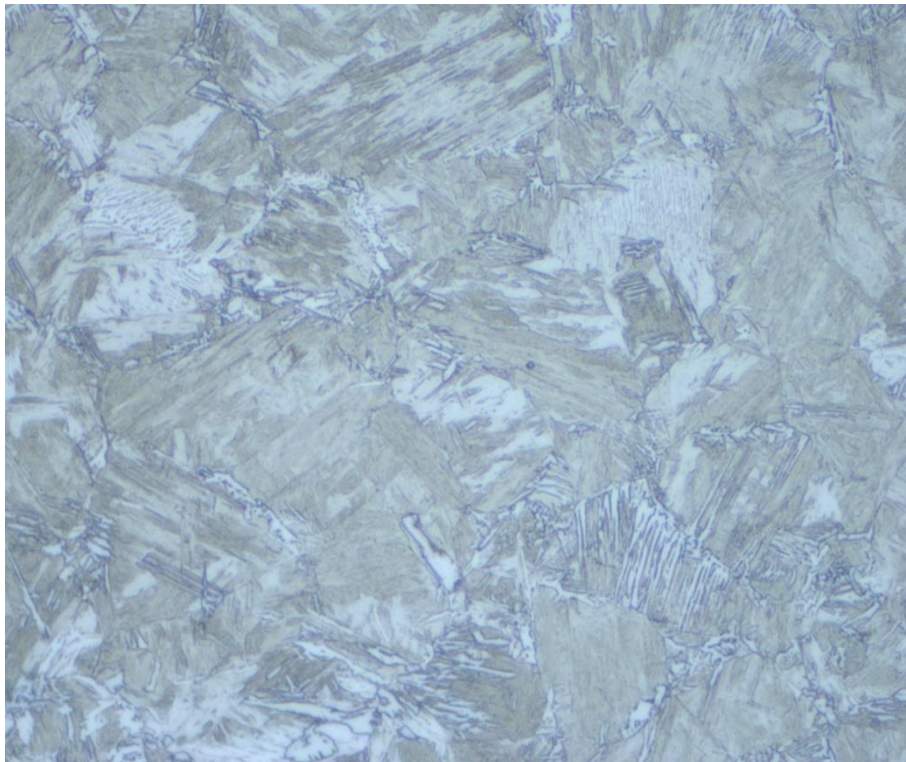


Fig. 3.5.18 – Detalii ale unui oțel balistic (Secure 500). Agent de atac: Nital 2%. Sursa: Laboratorul IIS.

Referinte:

[3.5.1] ASM HANDBOOK – Volume 9 – Metallography And Microstructures



[3.5.2] *Welding Metallurgy and Weldability Stainless Steels – John C. Lippold and Damian J. Kotechi.*

3.5 Demonstrarea diferitelor tipuri de structuri microscopice (Mhte)

3.5.1 Analiza sudurilor

Examinarea macroscopică se efectuează în mod obișnuit pe secțiuni neîncapsulate prin îmbinări sudate și implică tehnici de tăiere și rectificare grosieră/fină. Finisajul rezultat este adecvat pentru atac, urmat de examinarea caracteristicilor macro ale îmbinării sudate.

Printre acestea se numără:

- Geometria sudurii
- Numărul și dimensiunea trecerilor
- Adâncimea de penetrare
- Extinderea ZAT (zona afectată termic)
- Imperfecțiuni de suprafață precum crăpături, subțiere, gât excesiv, convexitate și unghiul la baza sudurii.
- Imperfecțiuni interne precum crăpături, porozitate, incluziuni metalice, lipsă de fuziune, lipsă de penetrare și zgură
- Imperfecțiuni de geometrie ale îmbinării precum fanta de rădăcină, fața de rădăcină, unghiul de ghioagă și dezalinierea

Pentru tehnicile de examinare microscopică, va fi necesară furnizarea unei suprafețe polizate, optic plane. Examinarea la microscop se efectuează pentru studii asupra imperfecțiunilor sudurii și a caracteristicilor microstructurale precum:

- Goluri (porozități, cavități de contractare, micro-fisuri)
- Faze speciale (faza sigma în oțel inoxidabil)
- Dimensiuni/structură de grăunțe
- Structura sudurii
- Segregație
- ZAT și structura de bază

3.5.2 Analiza fazelor

Definiția fazei în cazul materialelor metalice este următoarea: partea sistemului care este omogenă, are proprietăți chimice și fizice identice și poate fi separată printr-o suprafață de limită independentă este numită o fază. Analiza fazelor metalice este necesară pentru a caracteriza diferitele faze din materialele metalice. Analiza fazelor este o tehnică specială utilizată în ingineria sudurii și știința materialelor pentru a determina fazele unei probe prin diferite metode. Aceasta poate fi realizată prin mai multe metode, inclusiv atac colorat, difracție de raze X (XRD), microscopie electronică cu scanare (SEM) și microscopie electronică de transmisie (TEM), în funcție de rezultatele dorite. Analiza fazelor metalice este crucială pentru obținerea informațiilor despre materialele sudate și de bază specifice.

Rezultatul analizei fazelor pentru metalul de bază, ZAT (zona afectată termic) și îmbinare furnizează informații despre proprietățile mecanice așteptate și adecvarea structurii sudate. De exemplu, în ZAT-ul unui oțel cu conținut redus de carbon sudat, faza de martensită este nedorită. Un alt exemplu este reprezentat de precipitățile din ZAT-ul unui oțel inoxidabil austenitic. Analiza fazelor poate oferi, de asemenea, informații în cazul oțelurilor cu conținut de carbon despre metoda de austenizare (dimensiunile grăunțelor de austenit), deoarece după răcire, chiar dacă apare o transformare de fază (ferrită, perlita), grăunțele păstrează dimensiunea de grăunte a austenitei anterioare. Efiniția fazei în cazul materialelor metalice este următoarea: partea sistemului care este omogenă, are proprietăți chimice și fizice identice și poate fi separată printr-o suprafață de limită independentă este numită o fază. Analiza fazelor metalice este necesară pentru a caracteriza diferitele faze din materialele metalice. Analiza fazelor este o tehnică specială utilizată în ingineria sudurii și știința materialelor pentru a determina fazele unei probe prin diferite metode. Aceasta poate fi realizată prin mai multe metode, inclusiv atac colorat, difracție de raze X (XRD), microscopie electronică cu scanare (SEM) și microscopie electronică de transmisie (TEM), în funcție de rezultatele dorite. Analiza fazelor metalice este crucială pentru obținerea informațiilor despre materialele sudate și de bază specifice.

Rezultatul analizei fazelor pentru metalul de bază, ZAT (zona afectată termic) și îmbinare furnizează informații despre proprietățile mecanice așteptate și adecvarea structurii sudate. De exemplu, în ZAT-ul unui oțel cu conținut redus de carbon sudat, faza de martensită este nedorită. Un alt exemplu este reprezentat de precipitățile din ZAT-ul unui oțel inoxidabil austenitic. Analiza fazelor poate oferi, de asemenea, informații în cazul oțelurilor cu conținut de carbon despre metoda de austenizare (dimensiunile grăunțelor de austenit), deoarece după răcire, chiar dacă apare o transformare de fază (ferrită, perlita), grăunțele păstrează dimensiunea de grăunte a austenitei anterioare.

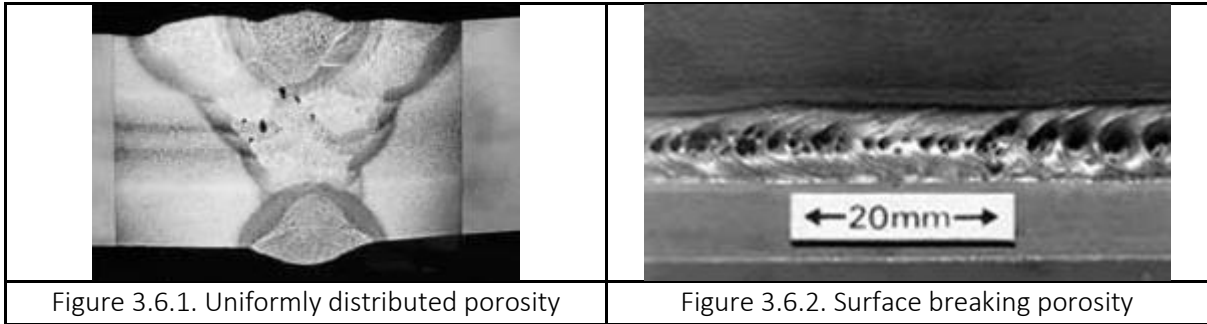
3.5.3 Analiza porozității

În îmbinarea sudată, de mai multe ori poate apărea porozitate. Motivul pentru porozitate este absorbția de azot, oxigen și hidrogen în topitura din bazinul de sudare, care apoi este eliberată în solidificare și rămâne captivă în metalul de sudare. Cea mai bună modalitate de a evita porozitatea este curățarea piesei înainte de sudare. Tabelul rezumă unele tipuri de metale și gazele care cauzează porozitate.

Tabelul 3.6.1. Gazele care cauzează porozitate

Metal	Gaz
Oțel C-Mn	H, N, O
Oțel inoxidabil	H
Aluminiu și aliaje	H
Cupru și aliaje	H, N
Nichel și aliaje	N
Titan și aliaje	H, N, O

Porozitatea poate fi găsită în îmbinare (Figura 3.6.1.) sau în apropierea suprafeței (Figura 3.6.2.) a îmbinării sudate.



Mai multe teste nedistructive sunt potrivite, cum ar fi inspectarea cu penetrant sau particule magnetice, inspectarea cu ultrasunete, testul cu raze X, etc. Testul distructiv, cum ar fi examinarea microscopică, este de asemenea potrivit (Figura 3.6.1.).

3.5.4 Decarburare

Decarburarea este un proces chimic în care carbonul din oțel se leagă de oxigen. Acest proces are loc la temperaturi ridicate (mai sus de 700 °C) (Figura 3.6.3.). Problema cu acest proces este că conținutul de carbon al oțelului scade. Procesul are loc prin difuzie, iar difuzia este, de asemenea, o limitare a acestui proces. Decarburarea poate avea loc de obicei la suprafața oțelului și într-un strat subțire sub suprafață. Stratul decarburat are un impact negativ asupra microstructurii și proprietăților mecanice ale îmbinării sudate și poate cauza crăpare în zona de graniță dintre îmbinare și metalul de bază.



Figure 3.6.3. Suprafața decarburată a oțelului C-Mn

3.5.5 Structuri din cupru

Structura cuprului și aliajelor depinde de procesul de fabricație (turnare, laminare, etc.). Structura cuprului turnat prezintă o structură dendritică, în timp ce structura laminată și recuită arată o structură cu grăunțe mici. Cuprul poate forma oxizi în structură, ceea ce poate fi detectat prin testul microscopic.

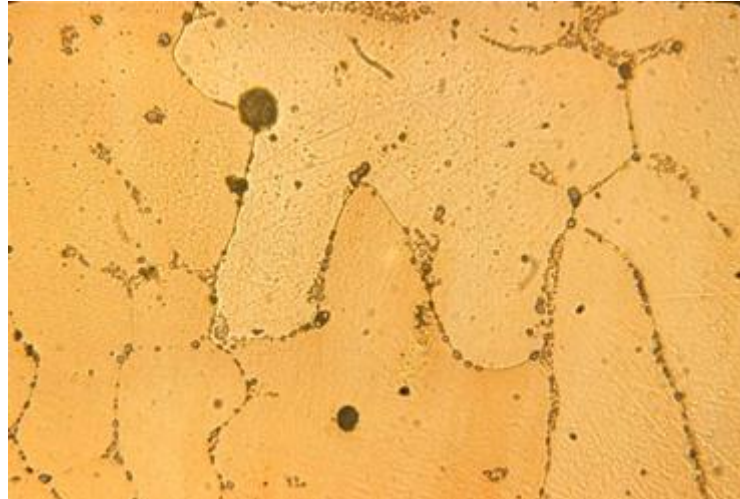


Figure 3.6.4. Copper microstructure with oxides

3.5.6 Structuri din aluminiu

Structurile aluminiului și aliajelor depind de procesul de fabricație (turnare, laminare, etc.). Structura aluminiului turnat prezintă o structură dendritică, în timp ce structura laminată și recuită arată o structură cu grăunțe mici. Aluminiul formează un strat de oxid pe suprafața piesei. În cazul aluminiului turnat, se pot găsi porozități la suprafața subțire a stratului de oxid poros. În timpul sudurii, aluminiul topit reacționează cu oxigenul și formează oxizi sau porozități. Grosimea stratului de oxid crește odată cu timpul, temperatura și cantitatea de oxigen disponibilă. Secțiunea transversală a unei piese de aluminiu este prezentată în Figura 3.6.5.

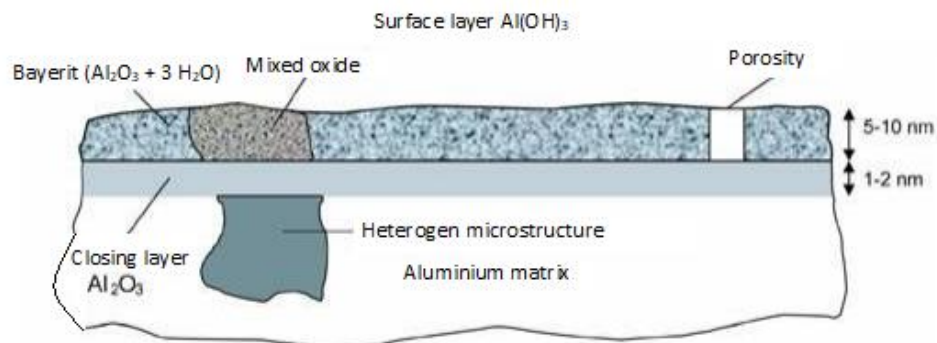


Figura 3.6.5. Secțiune transversală a unei piese de aluminiu

Tratamentul termic în cazul unei aliaje speciale de aluminiu poate modifica structura de suprafață. Tratamentul de soluție și ilustrația tratamentului termic de întărire prin precipitare sunt prezentate în Figura 3.6.6.

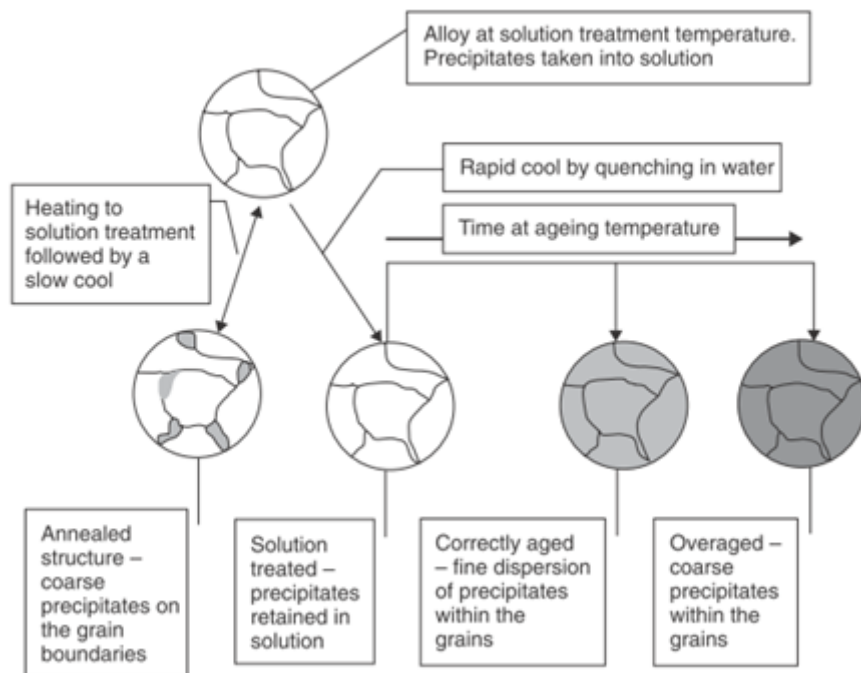


Figura 3.6.6. Structurile afectate de tratamentul termic

3.5.7 Structuri din fontă

Metalurgia fontei este mult mai complexă decât economia acesteia. Fonta este unul dintre sistemele metalurgice mai complexe. Este interesant de observat că aliajele de fier-carbon (cu mai puțin de 2% carbon) sunt metastabile. Adevăratul sistem stabil este sistemul de transformare a fazei fier-grafit (Fe-C). Transformările la starea solidă, pe baza cărora se bazează tratamentele termice pentru fontă, sunt similare cu cele aplicate oțelurilor și pot fi caracterizate astfel:

- La răcirea fontelor hipoeutectice, la o temperatură imediat sub 1147 °C, microstructura constă în austenit proeutectoid și ledeburită. La o răcire ulterioară, excesul de carbon se separă sub formă de cementită din austenitul proeutectoid și eutectoid. În cele din urmă, la 727 °C, atât austenitul eutectoid, cât și proeutectoid se descompun în perlite cu un conținut de carbon de aproximativ 0,77%.

- La răcirea fontelor eutectice, se formează ledeburită. La o răcire ulterioară, excesul de carbon iese din soluție sub formă de cementită din austenitul eutectic. În cele din urmă, la 727 °C, austenitul eutectic se descompune în perlite.

- La răcirea fontelor hipereutectice, la o temperatură imediat sub 1147 °C, microstructura constă în austenit proeutectoid și ledeburită. La o răcire ulterioară, excesul de carbon iese sub formă de cementită sub formă de cementită proeutectoidă și austenit eutectoid. În cele din urmă, la 727 °C, austenitul eutectoid se descompune în perlite.

Dacă un aliaj de fier depășește 2,11% carbon, carbonul nu trebuie să nucleeze din descompunerea austenitului, ci poate forma direct din topitură printr-o reacție eutectică. Se observă că cementita (Fe₃C) poate nuclea încă la eutectic mai ușor decât grafitul, dar la răcire suficient de lentă, grafitul în sine poate să se formeze și să crească.

Pe baza procesului de solidificare, le-am împărțit în două grupuri. Fontele albe (Figura 3.6.7.) cristalizează conform sistemului Fe-C metastabil, iar fontele gri (Figura 3.6.8.) cristalizează conform sistemului Fe-C stabil.

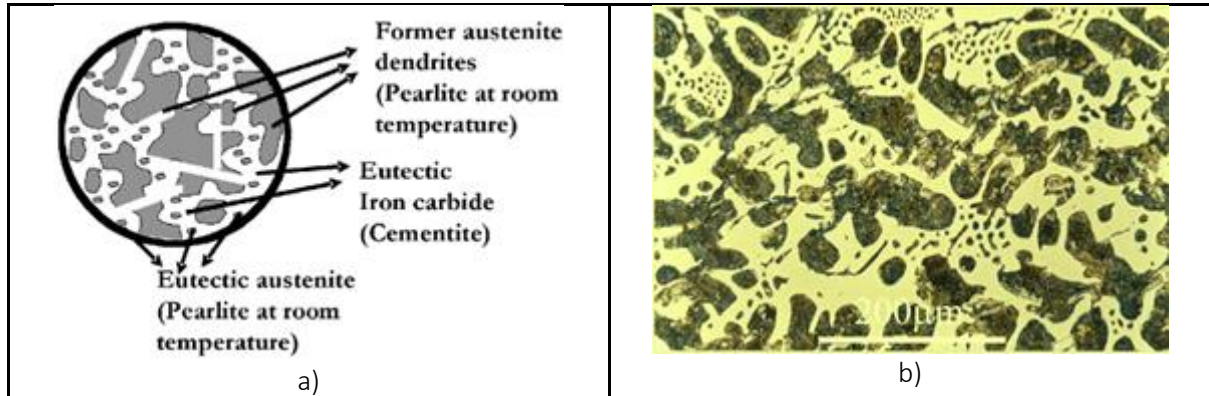
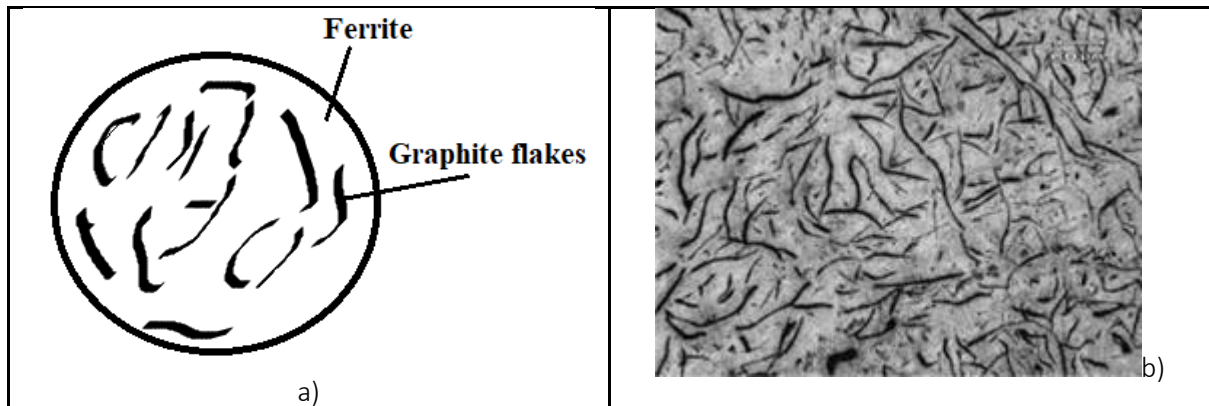


Figure 3.6.7. White cast iron a) schematic representation, b) microscopy picture



picture Figura 3.6.8. Fontă griă a) reprezentare schematică, b) imagine microscopică

Structura fontei albe poate fi modificată printr-un proces de tratament termic. Fonta maleabilă este realizată prin tratament termic. Această conversie, în practica obișnuită, este un proces în două etape denumit în mod obișnuit prima și a doua etapă a grafitizării. Prima etapă a unui ciclu tipic de tratament termic constă în încălzirea pieselor turnate la o temperatură cuprinsă între 900 și 950°C. Perlita se transformă în austenit printr-un proces de difuziune rapidă a carbonului din cementită în fier pentru a forma o soluție solidă de carbon în fierul gamma. Carbidele masive nu sunt afectate practic de încălzire. Prin urmare, deasupra intervalului eutectoid (dar sub eutectic), fierul constă în carburi masive în austenită. După prima etapă a grafitizării, structura fontei maleabile constă în austenit și grafit (Figura 3.6.9.).

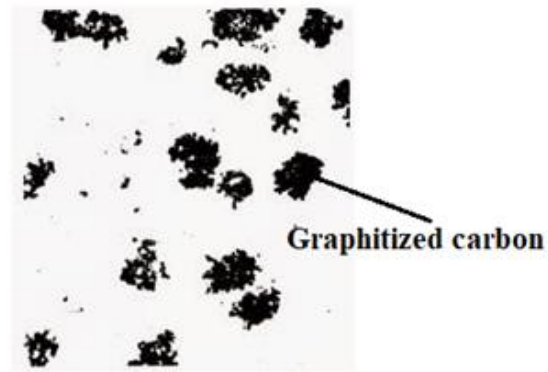


Figura 3.6.9. Fontă maleabilă ferritică

References

- 3.6.1. Gene Mathers: The welding of aluminium and its alloys, Woodhead Publishing Ltd. USA 2002.
- 3.6.2. Welding for design engineers, CWB Group, Canadian Welding Bureau 2006. ISBN 0-9739175-0-4
- 3.6.3. John C. Lippold; Welding Metallurgy and Weldability, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 2015.

3.6 Demonstrație a modurilor de pregătire a mostrelor pentru examinarea metalografică

3.6.2 Testare macroscopică a etapelor de pregătire a mostrelor pentru examinarea metalografică:

1. Eșantionare: Este necesar să se taie o mostră de dimensiuni potrivite (vezi Capitolul 1.2.1.) lent sub răcire cu apă (Figura 3.7.1.). Se poate folosi tăierea cu jet de apă, dacă este disponibilă.

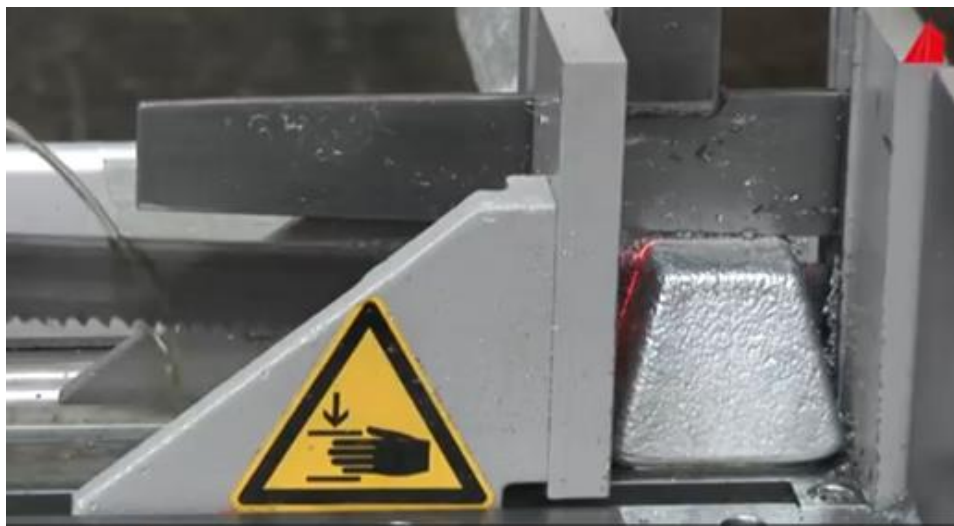


Figura 3.7.1. Tăiere mecanică sub răcire cu apă

2. Montare: Depinde de dimensiunea și geometria mostrei. În cazul examinării macroscopice, proba, care poate fi ținută în mână, poate fi pregătită fără montare (montarea este detaliată în Capitolul 1.2.2.).

3. Marcare: Mustra de test trebuie marcată pentru a putea fi identificată în timpul procesului de pregătire (vezi Capitolul 1.2.3.).

4. Rectificare: Rectificarea cu hârtie de șlefuit SiC, treptat, pe hârtie cu granulație mai fină, așa cum este descris în capitolul 1.2.5.



Figura 3.7.2. Rectificare

5. Curățare: spălare sub apă, urmată de suflare cu aer (vezi Capitolul 1.2.4.)

6. Atac: dacă este necesar, în funcție de tipul analizei preconizate (vezi Capitolul 1.2.8.)

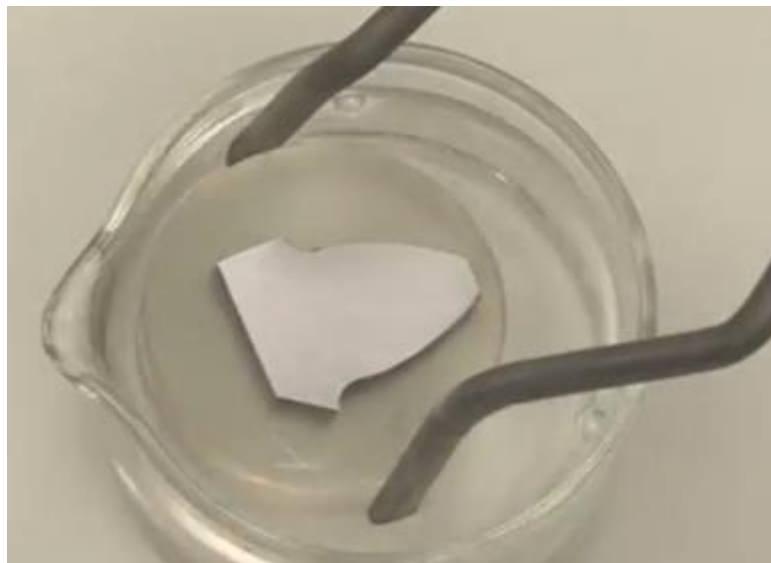


Figura 3.7.3. Atac

7. Curățare: spălare cu apă și urmată de curățare cu alcool (vezi Capitolul 1.2.4.). În cazul probelor polimerice, ar trebui utilizată doar curățarea cu apă.

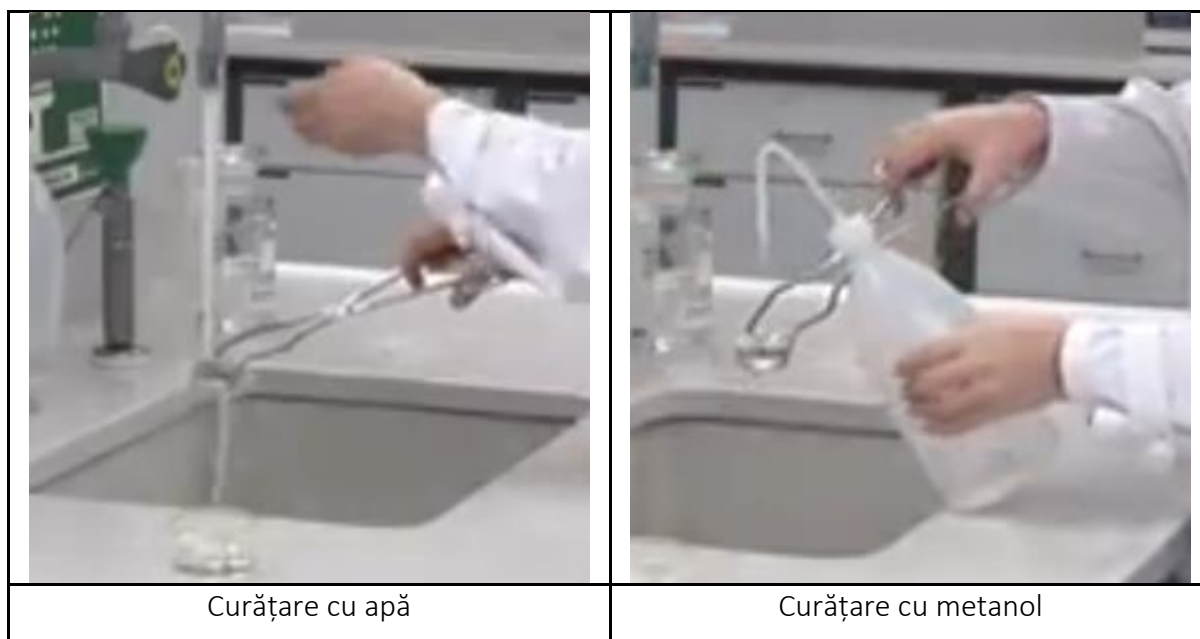


Figura 3.7.4. Curățare

8. Uscare: Uscarea ar trebui să aibă loc într-un curent de aer blând, în cazul polimerilor cu temperatura ambientală a aerului (vezi Capitolul 1.2.4.).

3.6.3 Testare microscopică a etapelor de pregătire a mostrelor metalografice:

1. Prelevarea probelor: Trebuie să fie tăiată o mostră de test potrivită ca dimensiune, de obicei, cu dimensiuni de maxim 25x25x25 mm³ sau cu un diametru maxim de 25 mm și o înălțime de 25 mm (vezi Capitolul 1.2.1.), tăiată încet sub răcire cu apă (Figura 3.7.1.) sau folosind tăiere cu jet de apă.
2. Curățare: spălare cu apă și apoi cu metanol (vezi Capitolul 1.2.4.), în cazul probelor polimerice este necesară doar curățarea cu apă. Se poate curăța și într-o baie cu ultrasunete.
3. Uscare: Uscarea ar trebui să aibă loc într-un curent de aer blând (vezi Capitolul 1.2.4.).
4. Montare: Montare caldă sau rece (montarea este detaliată în Capitolul 1.2.2.).



Figura 3.7.5. Montare

5. Marking: The test specimen needs to be marked to identify it during the preparation process (see Chapter 1.2.3.).

6. Grinding: Grinding with SiC paper, step by step on finer grain paper (Figure 3.7.6.) (see Chapter 1.2.5.).



Figura 3.7.6. Rectificare

7. Curățare: spălare cu apă (vezi Capitolul 1.2.4.).

8. Lustruire: Lustruire într-o pernă de lustruit cu particule abrazive de aluminiu sau diamant, treptat, pe particule abrazive mai fine; lustruirea electrochimică poate fi, de asemenea, utilizată (vezi Capitolul 1.2.6. și Capitolul 1.2.7.).



9. Curățare: spălare cu apă și apoi cu alcool (vezi Capitolul 1.2.4.).
10. Uscare: Uscarea ar trebui să aibă loc într-un curent de aer blând (vezi Capitolul 1.2.4.).
11. Atac: cu un agent de atac adecvat (Figura 3.7.3.) (vezi Capitolul 1.2.8.).
12. Curățare: spălare cu apă și apoi cu alcool (vezi Capitolul 1.2.4.).
13. Uscare: Uscarea ar trebui să aibă loc într-un curent de aer blând (vezi Capitolul 1.2.4.).