



Școala doctorală de: Științe Inginerești și Matematică

Domeniul de doctorat: Inginerie Industrială

***STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND PLACAREA  
TABLELOR METALICE PRIN SUDARE  
REZUMAT***

Doctorand:

Fineas MORARIU

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing.

Sever-Gabriel RACZ

# Cuprins



|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <u>Prefață</u> .....                                                                 | 5   |
| <u>Introducere</u> .....                                                             | 6   |
| <u>1. Stadiul actual privind placarea tablelor metalice prin sudare</u> .....        | 10  |
| <u>1.1. Analiză bibliometrică</u> .....                                              | 10  |
| <u>1.2. Clasificarea placărilor</u> .....                                            | 22  |
| <u>1.3. Analiza caracteristicilor suprafețelor placate</u> .....                     | 26  |
| <u>1.4. Metode de analiză și testare a suprafețelor placate</u> .....                | 28  |
| <u>1.5. Aplicații industriale și direcții de cercetare în domeniu</u> .....          | 31  |
| <u>1.6. Materiale utilizate în depunerile dure</u> .....                             | 34  |
| <u>1.7. Procedee de sudare utilizate pentru depunerile dure</u> .....                | 36  |
| <u>1.8. Parametrii de sudare și modelarea predictivă</u> .....                       | 41  |
| <u>1.9. Obiectivele cercetării</u> .....                                             | 56  |
| <u>1.10. Concluzii</u> .....                                                         | 59  |
| <u>2. Cercetări preliminare privind placarea tablelor metalice prin sudare</u> ..... | 60  |
| <u>2.1. Metodologia cercetării experimentale</u> .....                               | 70  |
| <u>2.2. Metoda Taguchi</u> .....                                                     | 75  |
| <u>2.3. Aplicarea metodei statistice ANOVA extinsă – GLM</u> .....                   | 78  |
| <u>2.4. Concluzii</u> .....                                                          | 84  |
| <u>3. Porozitatea tablelor metalice placate prin sudare</u> .....                    | 85  |
| <u>3.1. Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....      | 85  |
| <u>3.2. Standuri experimentale și metodologie</u> .....                              | 88  |
| <u>3.3. Rezultate</u> .....                                                          | 96  |
| <u>3.4. Concluzii</u> .....                                                          | 107 |
| <u>4. Compoziția chimică a tablelor metalice placate prin sudare</u>                 | 109 |

|      |                                                                                                                                     |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. | <u>Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....                                                          | 109 |
| 4.2. | <u>Standuri experimentale și metodologie</u> .....                                                                                  | 125 |
| 4.3. | <u>Rezultate</u> .....                                                                                                              | 128 |
| 4.4. | <u>Concluzii</u> .....                                                                                                              | 144 |
| 5.   | <u>Duritatea tabelelor metalice placate prin sudare</u> .....                                                                       | 145 |
| 5.1. | <u>Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....                                                          | 145 |
| 5.2. | <u>Standuri experimentale și metodologie</u> .....                                                                                  | 149 |
| 5.3. | <u>Rezultate</u> .....                                                                                                              | 153 |
| 5.4. | <u>Concluzii</u> .....                                                                                                              | 163 |
| 6.   | <u>Rezistența la abraziune a tabelor metalice placate prin sudare</u> .....                                                         | 165 |
| 6.1. | <u>Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....                                                          | 165 |
| 6.2. | <u>Standuri experimentale și metodologie</u> .....                                                                                  | 170 |
| 6.3. | <u>Rezultate</u> .....                                                                                                              | 175 |
| 6.4. | <u>Analiza multicriterială realizată cu software-ul <i>Minitab</i></u> .....                                                        | 185 |
| 6.5. | <u>Concluzii</u> .....                                                                                                              | 187 |
| 7.   | <u>Structura metalografică a tabelor metalice placate prin sudare</u> .....                                                         | 188 |
| 7.1. | <u>Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....                                                          | 188 |
| 7.2. | <u>Standuri experimentale și metodologie</u> .....                                                                                  | 190 |
| 7.3. | <u>Rezultate</u> .....                                                                                                              | 196 |
| 7.4. | <u>Concluzii</u> .....                                                                                                              | 215 |
| 8.   | <u>Determinarea caracteristicilor mecanice prin încercare la tracțiune uniaxială ale tabelor metalice placate prin sudare</u> ..... | 217 |
| 8.1. | <u>Considerații generale și obiectivele specifice ale cercetării</u> .....                                                          | 217 |
| 8.2. | <u>Standuri experimentale și metodologie</u> .....                                                                                  | 219 |
| 8.3. | <u>Rezultate</u> .....                                                                                                              | 226 |
| 8.4. | <u>Concluzii</u> .....                                                                                                              | 233 |
| 9.   | <u>Concluzii generale, contribuții personale și direcții viitoare de cercetare</u> .....                                            | 235 |
|      | <u>Bibliografie</u> .....                                                                                                           | 240 |
|      | <u>Anexe</u> .....                                                                                                                  | 248 |



Rezistența la uzarea abrazivă este esențială pentru piesele metalice utilizate în condiții industriale solicitante, asigurând durabilitatea și eficiența acestora. Uzura abrazivă se produce când materialele metalice interacționează cu particule abrazive, provocând deteriorări progresive care pot afecta integritatea structurală și funcționalitatea pieselor. Materialul și tratamentul adecvat al pieselor sunt importante pentru creșterea rezistenței la uzură abrazivă. Oțelurile martensitice, cum ar fi cele din seria *Hardox*, și oțelurile *Hadfield* sunt frecvent utilizate datorită proprietăților lor superioare de rezistență la abraziune și impact, ceea ce le face ideale pentru aplicații în condiții de uzură severă [1]. De asemenea, procesele de îmbunătățire a suprafeței – precum placarea – sunt importante, deoarece contribuie la extinderea duratei de viață a componentelor metalice, protejându-le împotriva uzurii abrazive printr-un strat de tip barieră, rezistent la uzură [2].

Adaptarea și optimizarea proceselor de fabricație prin tehnologii moderne permit, totodată, aplicarea precisă și eficientă a tratamentelor necesare pentru a maximiza rezistența la uzură. Aceasta nu doar că îmbunătățește performanța utilajelor din a căror ansamblu fac parte aceste componente, dar contribuie și la sustenabilitatea proceselor industriale prin reducerea risipei de materiale [3].

Astfel, combinarea înțelegerii aprofundate a uzurii abrazive, cu implementarea soluțiilor tehnologice avansate și tratamente adecvate, devin factori cheie pentru progresul ingineriei materialelor. Sinergia conceptelor contribuie totodată la utilizarea eficientă a resurselor și la sustenabilitatea proceselor industriale.

În contextul expansiunii continue și a îmbunătățirii proceselor tehnologice la nivelul companiei, selectarea grosimii și a formatului tablei pentru sudură nu este aleatorie, ci este rezultatul a două decenii de experiență acumulată în industria metalurgică din România. De-a lungul acestor ani, compania a atins un volum impresionant de producție, ajungând la tabla cu numărul 15000 și depășind 60000 [m<sup>2</sup>] de tablă metalică placată prin sudare. Aceste cifre subliniază capacitatea organizatorică și tehnică, dar și nevoia de optimizare continuă a proceselor, pentru a menține un nivel înalt de calitate și eficiență.

Pe parcursul acestor ani, analiza producției lunare, care atinge în medie peste 310 [m<sup>2</sup>] de tablă placată, a indicat că majoritatea tablelor placate au formatul 3000 x 1500 [mm x mm], cu o grosime a materialului de bază de 6 [mm] și o grosime a depunerii de 3 [mm]. Aceasta nu numai că reflectă preferințele pieței, dar și eficiența procesului de producție adaptat pentru acest

format specific. Dimensiunea și grosimea alese permit reducerea costurilor de producție, maximizarea utilizării materialelor și îmbunătățirea calității sudurii, aspecte importante pentru menținerea competitivității pe piața dinamică actuală.

În acest context, tema lucrării de față – „*Studii și cercetări privind placarea tablelor metalice prin sudare*” – a fost aleasă ca răspuns direct la necesitatea identificării și optimizării parametrilor tehnologici implicați în procesul de placare, având ca obiectiv final îmbunătățirea performanțelor tablelor metalice placate prin sudare, în condiții de uzură abrazivă.

Lucrarea își propune să investigheze influența factorilor de proces asupra compoziției chimice, a microstructurii și a proprietăților mecanice ale stratului depus, în vederea stabilirii unui regim tehnologic optim de sudare. Corelarea acestor rezultate experimentale cu performanțele finale ale stratului placat are ca scop obținerea unor soluții aplicabile direct în fluxul de producție, cu beneficii reale asupra durabilității și eficienței pieselor fabricate.

Astfel, cercetarea se aliniază preocupărilor actuale din industrie privind reducerea costurilor, creșterea calității produselor și sustenabilitatea proceselor de fabricație, prin valorificarea integrată a resurselor tehnologice.

Cercetările prezentate în cadrul acestei teze de doctorat au fost dezvoltate în contextul unei nevoi reale, identificate în activitatea companiei industriale în care activează autorul, respectiv optimizarea procesului de placare a tablelor metalice prin sudare. Această temă a fost aleasă în concordanță cu realitățile din producție, unde se derulează în mod curent lucrări de placare a tablelor, în scopul îmbunătățirii rezistenței la uzură abrazivă și al extinderii duratei de viață a componentelor metalice supuse unor solicitări severe.

Schema din figura I expune parcursul logic al cercetării, de la analiza stadiului actual și definirea cadrului experimental, până la evaluarea completă a proprietăților mecanice, structurale și funcționale ale straturilor placate, finalizându-se cu concluziile generale.

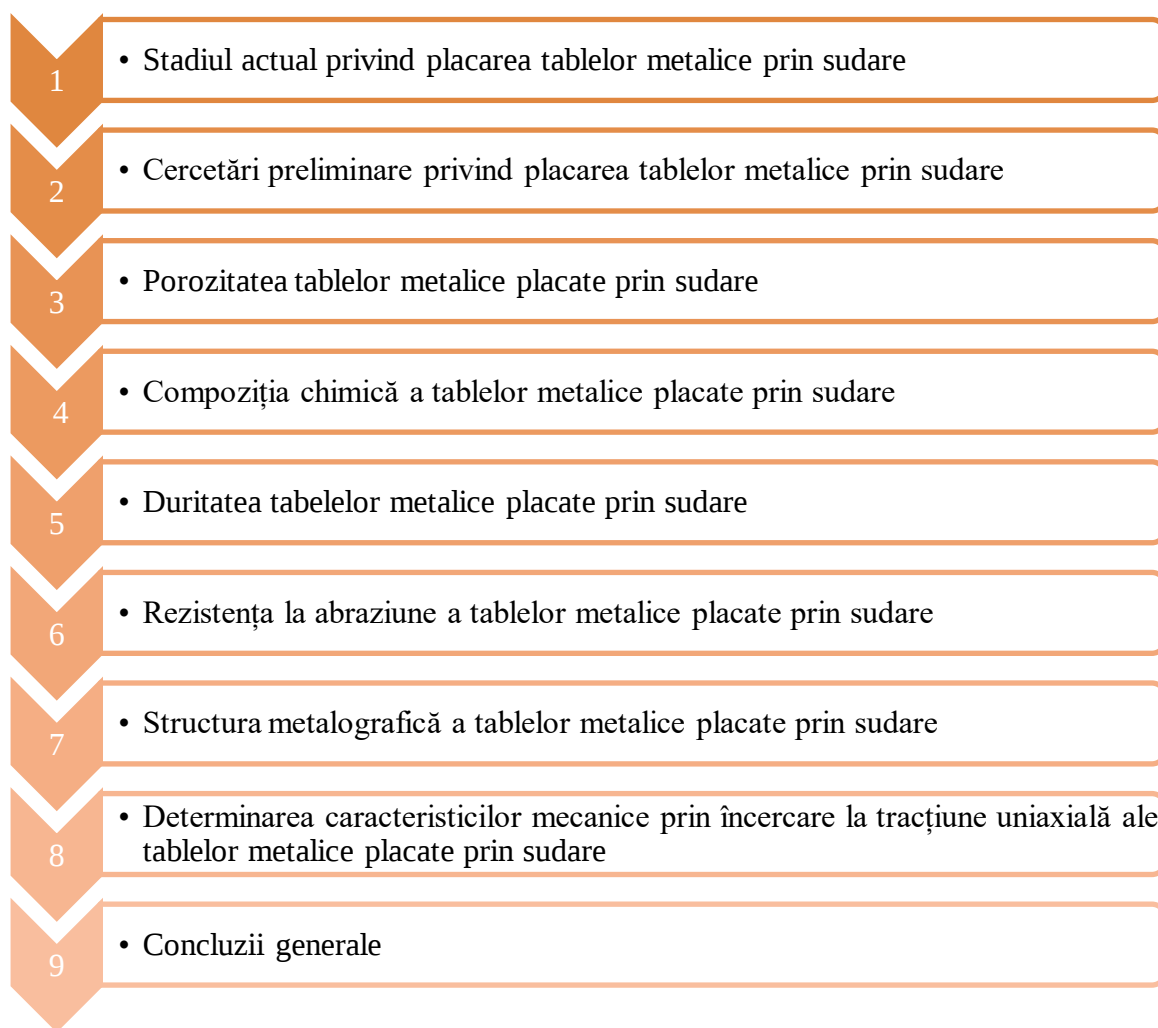


Fig. I Etapele cercetării privind placarea tablelor metalice prin sudare

Partea de documentare bibliografică a permis identificarea principalelor direcții actuale de cercetare privind sudarea cu arc electric cu sârmă tubulară autoprotejată (FCAW-S), precum și materialele utilizate în astfel de aplicații, atât în literatura internațională, cât și în cadrul cercetărilor naționale. Analiza bibliometrică a evidențiat interesul constant pentru optimizarea parametrilor tehnologici ai procesului de sudare și pentru impactul acestora asupra structurii și proprietăților stratului depus. Această etapă a stat la baza formulării obiectivelor generale și specifice ale lucrării, fundamentând necesitatea abordării experimentale.

În continuarea capitolului dedicat stadiului actual, direcția cercetării a fost structurată într-o manieră logică și coerentă, reflectând abordarea științifică adoptată:

- Capitolul 2 este dedicat studiilor preliminare, în care sunt prezentate detalii privind procesul de placare prin sudare, materialele utilizate (material de bază și sârmă de adaos), justificarea alegerii parametrilor tehnologici urmăriți, precum și designul experimental adoptat. A fost utilizată metoda *Taguchi*, însoțită de o abordare statistică

robustă, menită să permită identificarea influenței fiecărui parametru asupra proprietăților stratului depus.

- Capitolele 3–7 sunt dedicate etapelor experimentale, fiecare analizând în mod specific câte un aspect critic al comportamentului tablelor placate prin sudare:
  - Capitolul 3: Evaluarea porozității, pentru a analiza defectele interne generate de variațiile parametrilor de sudare;
  - Capitolul 4: Analiza compoziției chimice, pentru a corela concentrațiile de elemente aliate (Cr, Mn, Ni, Ti) cu parametrii de sudare și cu tipul materialului de bază;
  - Capitolul 5: Măsurători de duritate, prin care se evaluează rezistența locală a stratului depus în raport cu parametrii de sudare și compoziția chimică;
  - Capitolul 6: Teste de uzură abrazivă (ASTM G65), care tratează comportamentul placării la uzura abrazivă, prin teste efectuate în condiții controlate, menite să simuleze solicitările din exploatarea industrială;
  - Capitolul 7: Studiul microstructurii prin analiza metalografică, în vederea identificării fazelor formate și a influenței termice generate de procesul de sudare;
  - Capitolul 8: Încercarea la tracțiune uniaxială, cu scopul de a verifica influența depunerii asupra comportamentului mecanic al tablelor placate.
- Capitolul 9 este dedicat concluziilor generale, în care sunt sintetizate rezultatele cercetării. Tot aici sunt formulate contribuțiile personale și sunt propuse direcții viitoare de cercetare, cu accent pe implementarea industrială a rezultatelor obținute și extinderea studiului asupra altor materiale sau tehnologii de placare.

Astfel, întregul demers științific urmărește corelarea influenței parametrilor tehnologici ai placării prin sudare cu proprietățile fizico-mecanice și structurale ale stratului depus, într-un mod direct aplicabil în contextul industrial. Optimizarea procesului de placare reprezintă nu doar un obiectiv științific, ci și unul practic, menit să contribuie la creșterea eficienței și a competitivității în producția de table metalice placate prin sudare.

## **1. Stadiul actual privind placarea tablelor metalice prin sudare**

Structura capitolului 1 a permis conturarea unui cadru conceptual și aplicativ coerent privind placarea prin sudare, pornind de la o analiză bibliometrică a cercetărilor recente din domeniu. Rezultatele acestei analize au relevat direcțiile dominante de interes științific, precum și o concentrare semnificativă a lucrărilor asupra optimizării proceselor, creșterii fiabilității stratului depus și extinderii aplicabilității materialelor avansate. Integrarea acestor date a oferit o bază justificativă solidă pentru alegerea temei și delimitarea obiectivelor tehnice.

În continuare, a fost realizată o clasificare a procedeelor de placare, evidențiind relația dintre sursa de energie utilizată (arc electric, laser, fascicul de electroni) și specificitatea aplicațiilor industriale vizate. Au fost detaliate implicațiile termice ale fiecărui procedeu, gradul de diluție, zona afectată termic și impactul asupra structurii stratului placat. Această etapă a demonstrat importanța adaptării procedeeului în funcție de cerințele funcționale ale componentelor.

Secțiunea dedicată materialelor de bază și materialelor de adaos a pus în evidență rolul compatibilității chimice și structurale în obținerea unei aderențe durabile, fără defecte de fuziune sau formare de faze fragile. A fost subliniat caracterul bidirecțional al influenței: materialul de bază dictează condițiile de placare, iar materialul de adaos determină performanțele finale ale stratului depus.

Prin clasificarea tipurilor de placări (dure, funcționale, rezistente la coroziune sau temperaturi înalte) s-au delimitat zonele de aplicabilitate și s-a construit o punte între cerințele de exploatare și selecția tehnologică. Această corelare susține ideea că placarea trebuie abordată ca o soluție inginerescă particularizată, nu ca un procedeu universal.

În ansamblu, capitolul a construit o fundamentare teoretică și tehnologică necesară pentru înțelegerea etapelor ulterioare ale lucrării, oferind o imagine de ansamblu a variabilelor critice implicate în procesul de placare prin sudare, precum și a direcțiilor de optimizare tehnologică în raport cu noile cerințe industriale.

## **2. Cercetări preliminare privind placarea tablelor metalice prin sudare**

Cel de-al doilea capitol a avut rolul de a contura direcția generală a cercetării, printr-o prezentare clară a contextului tehnologic al placării tablelor metalice prin sudare. Pornind de la cerințele din mediul industrial, au fost analizate tipurile de materiale utilizate, caracteristicile procedeeului de sudare FCAW-S și echipamentele implicate, cu scopul de a înțelege și defini condițiile reale ale aplicației.

Ulterior a fost stabilită structura experimentului, prin selectarea variabilelor relevante și a parametrilor constanți, precum și prin alegerea unei metode adecvate de investigare statistică. Planificarea factorială și aplicarea metodei Taguchi au permis organizarea eficientă a testelor, oferind condițiile necesare pentru explorarea relațiilor dintre parametrii tehnologici și calitatea straturilor depuse.

### **3. Porozitatea tablelor metalice placate prin sudare**

Cercetările capitolului 3 au abordat comprehensiv problema porozității în placările metalice realizate prin sudare, pornind de la analiza teoretică a mecanismelor de formare a porilor și culminând cu o evaluare experimentală complexă susținută de metode cantitative și modelare statistică.

În prima etapă, a fost definit conceptul de porozitate și au fost prezentate tipurile uzuale de defecte însoțite de o clasificare detaliată în funcție de origine, morfologie și distribuție. Această parte a pus bazele pentru înțelegerea fenomenelor fizico-chimice responsabile de apariția porilor în stratul depus.

Pentru caracterizarea porozității, au fost prezentate metode experimentale diverse, atât nedistructive cât și distructive, în vederea acoperirii complete a gamei de dimensiuni și tipuri de pori. Selectarea metodei a fost făcută astfel încât să corespundă specificului eșantioanelor sudate.

Metodologia aplicată a inclus debitarea controlată a probelor, scanarea 3D pentru determinarea grosimii medii, cântărirea și procesarea datelor în software specializat, permițând o corelare între masa reală, volumul efectiv și estimarea porozității. Acest cadru metodologic a permis nu doar cuantificarea porozității, ci și validarea indirectă a omogenității depunerii.

Analiza statistică (GLM – ANOVA și regresie multiplă) a permis cuantificarea semnificației fiecărui parametru de sudare asupra porozității estimate. S-a demonstrat că numărul de straturi și tensiunea aplicată au cel mai puternic impact, urmate de viteza sârmei și înălțimea duzei. Materialul substratului a avut un efect marginal, dar semnificativ statistic.

Interpretarea coeficienților regresiei a oferit o imagine clară a direcției influenței fiecărui factor: aplicarea unui singur strat (L1), o tensiune mai mare (27 V) și o viteză redusă a sârmei (3,2 mm/s) s-au dovedit a fi condițiile optime pentru obținerea unui strat placat cu porozitate minimă.

Rezultatele experimentelor susțin concluziile statistice, evidențiind comportamentul superior al configurației M2–L1, care a generat cele mai reduse valori ale porozității în condiții optime de sudare. Compoziția chimică a materialului S355MC și controlul diluției au favorizat

o depunere omogenă, cu microstructură compactă. În contrast, configurația M1–L2 a menținut o porozitate ridicată, indiferent de parametri, din cauza influenței reîncălzirii și a capacității limitate de degazare a materialului S235JR+N.

De asemenea, influența diluției a fost analizată în contextul procesului, evidențiind relația invers proporțională dintre gradul de diluție și porozitate. O diluție crescută contribuie la eliminarea eficientă a gazelor, favorizând obținerea unui strat compact și fără goluri vizibile.

Pentru placarea tablelor metalice prin sudare, grosimea finală a stratului de adaos influențează atât durata de viață, cât și porozitatea. O grosime mai mare (6+3+3 [mm]) poate amplifica porozitatea, din cauza cumulului de pori între straturi, dar asigură o durată de viață mai mare datorită unei protecții suplimentare împotriva coroziunii și uzurii.

Așadar, rezultatele obținute și prezentate în acest capitol au validat experimental o abordare cantitativă integrată pentru evaluarea porozității în placările tablelor metalice obținute prin sudare și a oferit un cadru predictiv solid pentru optimizarea parametrilor de proces, cu scopul de a reduce defectele interne și de a crește fiabilitatea stratului protector.

#### **4. Compoziția chimică a tablelor metalice placate prin sudare**

Acest capitol a abordat influența compoziției chimice în cazul tablelor placate prin sudare, evidențiind rolul materialului de bază, al materialului de adaos și al fluxului din sârmă, în obținerea unor straturi depuse cu performanțe ridicate. S-a analizat interacțiunea dintre aceste componente, influența compoziției asupra proceselor termice și metalurgice din baia de sudură, precum și modul în care parametrii de sudare influențează microstructura finală.

Analiza experimentală, realizată cu ajutorul spectrometrului XRF, a vizat elemente precum Cr, Mn, Ni și Ti. Pentru crom, s-a evidențiat influența directă a tensiunii, înălțimii sârmei și vitezei de avans asupra diluției. Tensiuni medii (23–25 [V]), un stick-out de 25 [mm] și o viteză de 3,6–4 [m/min] au permis obținerea unor straturi bogate în Cr, cu duritate globală ridicată.

În cazul manganului, s-a observat că înălțimea duzei are cel mai mare impact asupra compoziției. Valorile intermediare (25 [mm]) au permis reducerea pierderilor prin evaporare și menținerea unui nivel stabil de Mn. Tensiunea și viteza sârmei au avut influențe mai reduse, dar necesită ajustare în funcție de regimul termic dorit.

Pentru Ni și Ti, concentrațiile au fost reduse, iar variațiile au fost puse pe seama diluției sau a oxidării. Deși nu s-a realizat o analiză detaliată, s-a constatat că un control strict al arcului poate contribui la retenția acestor elemente.

Rezultatele arată că reglarea atentă a parametrilor de sudare permite controlul compoziției chimice și al diluției. Se recomandă utilizarea unui regim moderat pentru a menține concentrațiile optime de elemente de aliere și pentru a evita defectele structurale. Aceste concluzii pot contribui la îmbunătățirea procesului de placare a tablelor metalice prin sudare utilizând procedeul FCAW-S, în vederea obținerii unor straturi adaptate aplicațiilor ce necesită proprietăți superioare de rezistență și durabilitate.

## **5. Duritatea tabelor metalice placate prin sudare**

Cercetările din acest capitol au investigat influența compoziției chimice, a parametrilor de sudare și a condițiilor termice asupra durității tabelor placate prin sudare, având ca obiectiv principal optimizarea parametrilor procesului de placare pentru obținerea unei durități globale ridicate și uniforme. Duritatea a fost măsurată prin metoda Rockwell, folosind durimetrul INSIZE ISH-BRV, pe 36 de probe placate cu unul sau două straturi.

Analiza a evidențiat că duritatea stratului depus este influențată semnificativ de materialul utilizat, de numărul de straturi aplicate, de tensiunea de sudare și de înălțimea duzei. Dintre acești factori, materialul M2 și depunerea în două straturi (L2) au condus la cele mai ridicate valori ale durității globale, datorită reducerii diluției și menținerii unei concentrații ridicate de elemente aliate precum Cr. În schimb, viteza sârmei a avut un efect redus asupra durității medii.

S-a observat că tensiunea joasă și o înălțime mare a duzei favorizează o structură fină, slab diluată, cu duritate ridicată. În plus, aplicarea celui de-al doilea strat a avut un efect benefic asupra uniformității și creșterii durității, compensând pierderile prin diluție ale primului strat. Dacă obiectivul principal este obținerea unei durități ridicate, atunci se recomandă utilizarea parametrilor care reduc diluția și permit formarea unor faze dure stabile.

Totodată, analiza a evidențiat interacțiunea dintre conținutul de Cr, porozitatea și duritatea globală, indicând că duritatea maximă nu este suficientă pentru performanța stratului în exploatare, dacă porozitatea este crescută. Astfel, optimizarea exclusivă a durității trebuie însoțită de controlul porozității și al compoziției chimice iar pentru aceasta este esențial un echilibru între omogenitate și integritate structurală.

## **6. Rezistența la abraziune a tabelor metalice placate prin sudare**

Cercetările cuprinse în capitolul 6 au avut ca obiectiv evaluarea rezistenței la uzare abrazivă a tabelor metalice placate prin sudare FCAW-S, completând analiza proprietăților mecanice și microstructurale a straturilor depuse. Testele au fost realizate conform standardului

ASTM G65 – Procedura A, iar rezultatele au fost interpretate din perspectiva influenței parametrilor de proces și a caracteristicilor stratului asupra pierderii de material.

Analiza a arătat că principalii factori care influențează uzura sunt tensiunea arcului [V], înălțimea duzei [mm] și viteza sârmei [m/min], în timp ce materialul de adaos și numărul de straturi (L) au avut o influență mai redusă din punct de vedere statistic. Totuși, probele cu două straturi (L2) și materialul M2 au prezentat, în general, o rezistență mai bună la abraziune, datorită microstructurii mai stabile, diluției reduse și distribuției uniforme a fazelor dure.

Corelând rezultatele pierderii de masă cu duritatea, porozitatea și compoziția chimică, s-a observat că o duritate ridicată nu garantează automat o rezistență crescută la uzare abrazivă. Factori precum distribuția carburilor, densitatea stratului și prezența porilor au influențat semnificativ performanța la abraziune. Probele cu o microstructură densă, carburi de Cr bine distribuite și un conținut redus de porozitate au avut cele mai bune rezultate.

Optimul de proces pentru minimizarea uzurii abrazive a fost identificat ca fiind combinația de tensiune de 27 [V], distanță H de 20 [mm] și viteză a sârmei de 4 [m/min].

În urma optimizării multicriteriale efectuate cu ajutorul Minitab, s-a putut identifica o configurație optimă a factorilor de proces care asigură un echilibru între criteriile analizate. Scorul  $D = 0,88$  confirmă atingerea unui nivel ridicat de satisfacere simultană a obiectivelor privind minimizarea pierderii de masă și a porozității, precum și maximizarea durității globale și a concentrației de crom. Valorile estimate pentru variabilele de răspuns în punctul optim (Cr [%]=18,71, Dg [HRC]=64,16, P [%]=0,81,  $\Delta m$  [g]=0,12).

Rezultatele subliniază importanța controlului parametrilor de sudare și a compoziției chimice, pentru obținerea unui strat placat performant în medii abrazive. De asemenea, se recomandă optimizarea parametrilor procesului nu doar în funcție mărimea de răspuns (duritate [HRC]), ci și în raport cu omogenitatea structurală, conținutul de faze dure și nivelul de defecte, pentru a asigura o rezistență reală și durabilă la uzarea prin abraziune.

## **7. Structura metalografică a tablelor metalice placate prin sudare**

În cadrul capitolului 7 cercetarea a vizat analiza detaliată a structurii metalografice a straturilor depuse prin procedeul FCAW-S, în scopul corelării microstructurii cu performanțele mecanice și tribologice ale straturilor aplicate pe table din oțel carbon (S235JR+N) și oțel de înaltă rezistență (S355MC). Cercetarea s-a axat pe evaluarea influenței compoziției chimice, a regimului de sudare și a vitezei de răcire asupra formării fazelor metalice, asupra aderenței stratului depus la substrat și asupra comportamentului la uzare abrazivă.

S-au analizat variantele de depunere M1–L1, M1–L2, M2–L1 și M2–L2, iar pentru fiecare dintre acestea s-au identificat epruvetele cu performanțe extreme (pozitive și negative) în funcție de parametri precum: duritate, porozitate, conținut de Cr și pierderea de masă prin uzare abrazivă. În urma analizelor microstructurale, s-au evidențiat următoarele aspecte relevante:

- Zona de tranziție dintre materialul de bază și stratul depus joacă un rol critic în comportamentul global al stratului, influențând aderența, duritatea locală și rezistența la solicitări mecanice. Tranzițiile progresive ale fazelor metalice și formarea de carburi de Cr indică o bună fuziune metalurgică.
- Prezența martensitei a fost constant identificată în zonele superioare ale stratului depus, ca urmare a răcirii rapide specifice procesului FCAW-S. Această fază a contribuit la creșterea durității stratului, dar și la fragilizare locală, în funcție de distribuția carburilor și a porozității.
- Carburile de Cr s-au dovedit esențiale în îmbunătățirea rezistenței la uzare abrazivă. S-a constatat că o distribuție uniformă a acestora, obținută în condiții de sudare optimizate, asigură o microstructură omogenă și performanțe superioare ale stratului depus.
- Diluția ridicată și menținerea unei distanțe reduse între duza de sudare și substrat s-au confirmat ca factori favorizanți pentru obținerea unei structuri fine, dense și rezistente la uzare abrazivă. Acest aspect a fost validat în special pentru epruvetele S20, S46 și S102.
- Deși în unele cazuri (S62, S34) s-au obținut valori ridicate ale durității, datorită conținutului crescut de Cr, distribuția neuniformă a elementelor de aliere și prezența porozităților au condus la performanțe slabe la uzare abrazivă, subliniind faptul că duritatea ridicată nu garantează o comportare corespunzătoare în exploatare.

Analiza metalografică a demonstrat că microstructura stratului depus este profund influențată de regimul de sudare și de compoziția materialului de bază și a celui de adaos, iar o microstructură fină, omogenă, cu o distribuție uniformă a carburilor și cu porozitate redusă reprezintă soluția dorită pentru obținerea unor straturi performante din punct de vedere mecanic și tribologic.

## **8. Determinarea caracteristicilor mecanice prin încercare la tracțiune uniaxială ale tablelor metalice placate prin sudare**

Cercetarea prezentată în cadrul celui de-al optulea capitol are ca obiectiv analiza comparativă a rezultatelor privind comportamentul la tracțiune uniaxială a materialului de bază, S355MC, și al probelor sudate. Analiza a expus o scădere semnificativă a proprietăților

mecanice post-sudare, indiferent de configurația aleasă. Este evident că materialul de bază, neafectat de intervenții, păstrează cele mai înalte niveluri de rezistență la tracțiune și la curgere, precum și o ductilitate superioară, ilustrând impactul negativ al procesului de sudură asupra integrității structurale a oțelului.

Comparând probele cu un strat de sudură față de cele cu două straturi, se observă o scădere accentuată a rezistenței mecanice în cazul celor din urmă. Acest fenomen poate fi atribuit acumulării de tensiuni reziduale și alterării mai profunde a microstructurii, rezultate în urma aplicării repetate a căldurii. Procesul de sudură, prin natura sa, induce modificări în structura metalului, afectând negativ proprietățile mecanice ale acestuia.

În ceea ce privește orientarea rândurilor de sudură relativ la direcția de tragere, rezultatele sugerează că orientările la  $0^\circ$  tind să prezinte performanțe mecanice sensibil superioare comparativ cu cele la  $45^\circ$  sau  $90^\circ$ . Acest lucru indică faptul că alinierea sudurii în paralel cu direcția forței de tracțiune aplicate poate ajuta la minimizarea impactului negativ al sudurii asupra rezistenței tablelor placate. Sudura perpendiculară pe direcția de tracțiune prezintă cele mai mari modificări și, în consecință, cea mai mare descreștere a proprietăților mecanice, datorată concentrării tensiunilor la interfața dintre straturi și materialul de bază, ceea ce facilitează inițierea și propagarea fisurilor sub sarcini mecanice.

Placarea tablelor metalice prin sudare poate oferi beneficii specifice, cum ar fi rezistența la uzare abrazivă, prin creșterea durității, dar în același timp aceasta necesită optimizări pentru a minimiza impactul negativ asupra proprietăților structurale. Astfel, selectarea adecvată a parametrilor de sudură împreună cu orientarea cordoanelor de sudură în raport cu direcția de acțiune a forțelor și numărul de straturi sunt importante pentru a valorile caracteristicilor mecanice cu cerințele funcționale ale componentelor sudate. Cercetările viitoare vizează analiza diferitor tehnici de sudură și tratamente post-procesare care pot îmbunătăți ductilitatea și rezistența la tracțiune a tablelor rezistente la uzare abrazivă, asigurând atât funcționalitatea cât și durabilitatea acestora în aplicații critice.

## **9. Concluzii generale**

Pe baza rezultatelor obținute în urma desfășurării cercetărilor teoretice și experimentale privind tablele metalice placate prin sudare FCAW-S, prezentate pe larg în capitolele anterioare, pot fi formulate următoarele concluzii generale:

- placarea tablelor prin sudare reprezintă o soluție tehnologică eficientă pentru îmbunătățirea durabilității în aplicații industriale supuse uzurii;

- tablele metalice placate prin sudare sunt utilizate pe scară largă în industrii precum cea a betonului, a asfaltului, a ceramicii, agricultura și sectorul energetic, acolo unde este necesară asigurarea unei rezistențe crescute la uzare abrazivă;
- etapele principale ale procesului tehnologic pentru obținerea tablelor metalice placate includ placarea (aplicarea stratului de adaos), debitarea la dimensiunile dorite, deformarea prin roluire pentru adaptarea formei, precum și asamblarea finală a produsului;
- din perspectiva sustenabilității, cercetările recente susțin utilizarea unor metode de depunere care reduc pierderile de material și optimizează consumul energetic;
- studiile recente subliniază importanța controlului parametrilor tehnologici (tensiune, înălțime duză, viteza sârmei) asupra calității stratului depus, influențând diluția, porozitatea, duritatea și microstructura;
- în aplicațiile industriale în medii supuse uzurii abrazive placarea tablelor metalice prin sudare FCAW-S reprezintă o metodă eficientă de obținere a straturilor dure;
- alegerea adecvată a numărului de straturi și a materialului de adaos pot îmbunătăți performanța în exploatare și pot reduce uzura în medii abrazive;
- numărul de straturi influențează caracteristicile mecanice ale tablelor placate, cu cât crește nr. de straturi scade atât rezistența mecanică cât și deformabilitatea, dar se îmbunătățește rezistența la uzarea abrazivă a stratului superficial;
- porozitatea stratului depus a fost evaluată ca parametru critic în determinarea calității sudurii, având un impact direct asupra durabilității și comportamentului la uzarea abrazivă.
- probele placate cu strat dublu au prezentat o porozitate mai mare, dar și o distribuție a porilor la suprafața celui de-al doilea strat, în timp ce la cele placate cu un singur strat s-au observat pori adânci și neuniformi, cu efect potențial negativ asupra integrității stratului;
- s-a constatat o corelație între parametrii de sudare și porozitate: înălțimea duzei și viteza sârmei influențează semnificativ cantitatea și dimensiunea porilor formați;
- controlul porozității prin ajustarea parametrilor tehnologici este important pentru obținerea unei microstructuri dense, fără discontinuități, dar și pentru reducerea altor defecte de depunere, precum incluziunile, formarea de zgură sau fuziunea incompletă între straturi;
- studiul a evidențiat prezența unor faze dure (carburi de Cr) distribuite diferit în funcție de regimul termic aplicat, cu formări eutectice bine conturate în placările M2-L2;

- placările în două straturi au prezentat o microstructură mai rafinată și o omogenitate mai bună, datorită diluției reduse în stratul superior;
- controlul parametrilor (U, H, VS) a permis generarea de microstructuri cu granulație fină, favorabile durității și rezistenței la abraziune;
- compoziția chimică a materialului de adaos influențează semnificativ microstructura stratului depus;
- cromul contribuie la formarea de faze dure, crescând duritatea și rezistența la uzarea abrazivă;
- probele placate cu M2 au prezentat o compoziție mai bogată în Cr, explicând performanțele superioare în testele de duritate;
- diluția ridicată în L1 a condus la scăderea concentrației de elemente aliate, în timp ce L2 a permis menținerea compoziției nominale a sârmei la suprafață;
- parametrii procesului de sudare (tensiune, înălțimea duzei, viteza sârmei) influențează nivelul de diluție și microstructura rezultată;
- tensiunea scăzută și înălțimea mare a duzei favorizează formarea unei structuri dure, cu diluție redusă;
- numărul de straturi depuse influențează atât duritatea globală, cât și comportamentul la uzarea abrazivă;
- probele acoperite cu două straturi au demonstrat o duritate mai omogenă, prin reducerea influenței substratului asupra stratului funcțional.
- s-a observat o influență semnificativă a parametrilor de sudare asupra durității globale: înălțimea duzei (H) și tensiunea (U) au avut cel mai mare impact.
- probele M2-L2 au atins valori maxime de duritate ( $>68$  [HRC]), menținând totodată o bună uniformitate între baza și vârful stratului –  $\Delta D < 3$  [HRC].
- studiul a evidențiat necesitatea unei echilibrări între duritate și omogenitate, astfel încât să se evite scăderea tenacității materialului și apariția fragilității în condiții de solicitare.
- rezistența la uzare abrazivă determinată prin testul ASTM G65 este corelată cu duritatea, dar este afectată și de porozitate și de calitatea legăturii stratului cu substratul;
- materialele cu carburi medii și bine distribuite și cu o microstructură densă au avut cea mai mică rată de uzură volumetrică [ $\text{mm}^3/\text{m}$ ];
- corelarea dintre duritate, compoziția chimică, porozitate și microstructură a confirmat că rezistența la abraziune este rezultatul sinergic al tuturor acestor factori;

- analiza statistică (ANOVA, modele GLM) a validat influența semnificativă a parametrilor de sudare asupra durității și uzurii, confirmând robustețea modelelor experimentale utilizate;
- optimizarea multicriterială a procesului s-a realizat identificând combinația parametrică: materialul M2, două straturi (L1), tensiune 27 [V], înălțime duză 20 [mm], viteză sârmă 4,0 [m/min], favorabilă pentru maximizarea durității și minimizarea pierderii de masă prin abraziune.
- rezultatele obținute susțin ideea că optimizarea parametrilor de sudare are impact nu doar asupra durității și a uzurii abrazive, ci și asupra caracteristicilor mecanice;
- încercarea la tracțiune uniaxială a permis evaluarea caracteristicilor mecanice ale tablelor placate, cu accent pe influența placării asupra rezistenței la rupere și a deformabilității;
- compararea caracteristicilor mecanice ale tablelor placate prin sudare FCAW-S cu material de bază S235 și S355 a evidențiat diferențe mari între acestea, demonstrând că substratul influențează comportamentul mecanic al tablei placate prin sudare;

### **Contribuții personale**

- realizarea unei documentări extinse, pe baza a peste 180 de surse științifice relevante, care fundamentează rezultatele și contribuie la poziționarea lucrării în contextul național și internațional al studiilor privind materialele placate rezistente la uzura abrazivă;
- elaborarea unui plan experimental factorial complet, care a permis investigarea sistematică a influenței a cinci parametri (tensiune [V], înălțime duză [mm], viteză sârmă [m/min], material de adaos și număr de straturi) asupra proprietăților stratului placat;
- proiectarea unei metodologii experimentale coerente, cu etape clare, reproductibile și adaptabile pentru alte tipuri de materiale sau condiții de testare, constituind o bază solidă pentru cercetări ulterioare;
- utilizarea integrată a softurilor specializate: Minitab (ANOVA, GLM), Excel (prelucrare date), Gephi (vizualizare grafică) și Zeiss Inspect (analiză 3D), pentru o interpretare a rezultatelor experimentale;
- aplicarea metodelor de scanare 3D pentru determinarea porozității stratului placat și corelarea acesteia cu uzura volumetrică;

- propunerea și aplicarea unei metode proprii de calcul a durității globale ( $D_g$ ) și a diferenței de duritate între bază și vârf ( $\Delta D$ ), ca indicatori ai omogenității stratului și ai potențialului său de rezistență manifestată în timpul fenomenului de uzare abrazivă;
- adaptarea testului ASTM G65 pentru materiale cu straturi multiple, prin integrarea unui calcul ajustat al pierderii volumice și raportarea acesteia la densitatea specifică a materialului, ceea ce a permis o evaluare comparabilă, riguroasă și aliniată la standardele din literatura de specialitate.
- integrarea și corelarea multidisciplinară dintre analiza microstructurală, duritate, porozitate, compoziție chimică și comportament la uzare abrazivă, oferind o viziune holistică asupra performanței materialelor placate prin sudare FCAW-S;
- propunerea unui model multicriterial de optimizare (duritate – uzare abrazivă – porozitate – compoziție), ce poate fi utilizat în industrie pentru ajustarea rapidă a parametrilor, în funcție de cerințele aplicației;
- identificarea și validarea configurației optime de sudare care reprezintă un raport favorabil între duritate, omogenitate, aderență și uzare abrazivă minimă: material M2, două straturi (L1), U este 27 [V], H este 20 [mm], iar VS este 4,0 [m/min];
- aplicarea criteriilor de validare statistică a modelelor ( $R^2$ ,  $R^2$  ajustat și  $R^2$  predictiv), cu valori peste 94 [%], ceea ce demonstrează robustețea concluziilor și caracterul reproductibil al rezultatelor experimentale.

### **Direcții viitoare de cercetare**

- extinderea testelor de uzare abrazivă prin introducerea testelor în mediu umed (ASTM G105) sau în condiții de impact repetat, pentru a simula aplicații industriale reale;
- analiza comportamentului la temperaturi ridicate, prin teste de uzare abrazivă la cald, pentru a evalua stabilitatea fazelor dure în regim termic;
- aplicarea tratamentelor post-sudare, precum tratamente termice sau criogenice, pentru rafinarea microstructurii și pentru creșterea durității/tenacității stratului depus;
- utilizarea materialelor de adaos cu compoziții complexe (Fe-Cr-Nb-B-Ti) sau pulberi hibridizate pentru obținerea de straturi multifazice cu performanțe superioare;
- modelarea numerică (FEM/CFD) a procesului de sudare și solidificare pentru a simula distribuția temperaturii, diluției și formarea defectelor, în vederea reducerii experimentelor fizice;

- investigarea comportării tablelor placate la deformarea plastică la rece prin roluire;
- studii de comportament în exploatare industrială (utilaje agricole, concasoare, echipamente de minerit) pentru validarea durabilității materialelor în condiții reale de lucru;
- investigarea placării hibride, prin combinarea a două materiale de adaos sau etape tehnologice diferite, pentru obținerea unor straturi cu proprietăți funcționale graduale și performanță îmbunătățită la uzare abrazivă.

## 10. Bibliografie

1. Zemlik, M., et al., *Comparison of Abrasive Wear Resistance of Hardox Steel and Hadfield Cast Steel*. Applied Sciences, 2024. **14**(23): p. 11141.
2. Szala, M., *Cavitation Erosion, Abrasive and Sliding Wear Behavior of Metal-Based Structures*. Metals, 2022. **12**(3): p. 373.
3. Jankauskas, V. and R. Skirkus, *Development and Testing of Materials with Reduced Wear by Fixed Abrasive*. Key Engineering Materials, 2012. **527**.DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.527.229.
4. Świerczyńska, A., et al., *Exploring the trends in flux-cored arc welding: scientometric analysis approach*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2024. **130**(1): p. 87-110.DOI: 10.1007/s00170-023-12682-6.
5. Ghanad, A., *An Overview of Quantitative Research Methods*. INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY RESEARCH AND ANALYSIS, 2023. **06**.DOI: 10.47191/ijmra/v6-i8-52.
6. Morariu, F., et al., *Soft Robotics: A Systematic Review and Bibliometric Analysis*. Micromachines, 2023. **14**(2): p. 359.
7. Mishra, R., P. De, and N. Kumar, *Friction Stir Welding and Processing: Science and Engineering*. 2005.DOI: 10.1007/978-3-319-07043-8.
8. Goldak, J.A., A.P. Chakravarti, and M. Bibby, *A new finite element model for welding heat sources*. Metallurgical Transactions B, 1984. **15**: p. 299-305.
9. Nandan, R., T. Debroy, and H. Bhadeshia, *Recent advances in friction-stir welding – Process, weldment structure and properties*. Progress in Materials Science, 2008. **53**: p. 980-1023.DOI: 10.1016/j.pmatsci.2008.05.001.
10. Cai, W., et al., *Self-limited plasmonic welding of silver nanowire junctions*. Nature materials, 2012. **11**: p. 241-9.DOI: 10.1038/nmat3238.
11. Threadgill, P., et al., *Friction stir welding of aluminium alloys*. International Materials Reviews, 2009. **54**: p. 49-93.DOI: 10.1179/174328009X411136.
12. Su, J.Q., et al., *Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium*. Acta Materialia, 2003. **51**: p. 713-729.DOI: 10.1016/S1359-6454(02)00449-4.
13. Mahoney, M.W., et al., *Properties of friction-stir-welded 7075 T651 aluminum*. Metallurgical and Materials Transactions A, 1998. **29**(7): p. 1955-1964.DOI: 10.1007/s11661-998-0021-5.
14. Rhodes, C.G., et al., *Effects of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminum*. Scripta Materialia, 1997. **36**: p. 69-75.
15. Jata, K. and S. Semiatin, *Continuous Dynamic Recrystallization During Friction Stir Welding of High Strength Aluminum Alloys*. Scripta Materialia - SCRIPTA MATER, 2000. **43**: p. 9.DOI: 10.1016/S1359-6462(00)00480-2.
16. Schmidt, H., J. Hattel, and J. Wert, *An analytical model for the heat generation in friction stir welding. Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering*, 2003. **12**: p. 143.DOI: 10.1088/0965-0393/12/1/013.
17. Nagentrau, M., et al., *The influence of welding condition on the microstructure of WC hardfacing coating on carbon steel substrate*. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2019. **82**: p. 43-57.DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2019.03.029.
18. de Sousa, J.M.S., et al., *Abrasion resistance of Fe-Cr-C coating deposited by FCAW welding process*. Wear, 2021. **476**: p. 12.DOI: 10.1016/j.wear.2021.203688.
19. Ferozhkhan, M.M., et al. *Plasma Transferred Arc Welding of Stellite 6 Alloy on Stainless Steel for Wear Resistance*. in *1st Global Colloquium on Recent Advancements and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology (RAEREST)*. 2016. St Josephs Coll Engn & Technol, Palai, INDIA: Elsevier Science Bv.DOI: 10.1016/j.protcy.2016.08.226.
20. Appiah, A.N.S., et al., *Hardfacing of mild steel with wear-resistant Ni-based powders containing tungsten carbide particles using powder plasma transferred arc welding technology*. Materials Science-Poland, 2022. **40**(3): p. 42-63.DOI: 10.2478/msp-2022-0033.
21. Özel, C. and T. Gürgenç, *Effect of heat input on microstructure, wear and friction behavior of (wt.-%) 50FeCrC-20FeW-30FeB coating on AISI 1020 produced by using PTA welding*. Plos One, 2018. **13**(1): p. 12.DOI: 10.1371/journal.pone.0190243.
22. Szymura, M., V. Ochodek, and L. Tanger. *COMPARISON OF ABRASIVE WEAR RESISTANCE OF ARC-SPRAYED AND HVOF-SPRAYED COATINGS AS WELL AS OVERLAY WELDS MADE USING*

- SELF-SHIELDED FLUX-CORED WIRE*. in *32nd International Conference on Metallurgy and Materials (METAL)*. 2023. Brno, CZECH REPUBLIC: Tanger Ltd. DOI: 10.37904/metal.2023.4723.
23. Pawlowski, L., *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*. 2008: Wiley.
  24. Fotovvati, B., N. Namdari, and A. Dehghanghadikolaei, *On Coating Techniques for Surface Protection: A Review*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2019. **3**(1): p. 28.
  25. Lince, J., *Coatings for Aerospace Applications*. 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.21638.16964.
  26. Holmberg, K. and A. Matthews, *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. 2009: Elsevier Science.
  27. Berndt, C.C., et al., *Thermal Spray 2001: New Surfaces for a New Millenium; Proceedings of the 2nd International Thermal Spray Conference, 28-30 May, 2001, Singapore*. 2001: ASM International.
  28. Philip A. Schweitzer, P.E., *Corrosion Resistance Tables: Metals, Nonmetals, Coatings, Mortars, Plastics, Elastomers, and Linings and Fabrics, Fifth Edition (4 Volume Set)*. 2004: Taylor & Francis.
  29. Davis, J.R., *Alloying: Understanding the Basics*. 2001: ASM International.
  30. Tayactac, R. and E. Ang, *A Review of Corrosion Resistance Alloy Weld Overlay Cladding Material for Geothermal Applications*. Materials Science Forum, 2021. **1047**: p. 120-127. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1047.120.
  31. Panwar, V., V. Chawla, and N. Grover, *A REVIEW ON DIFFERENT THERMAL SPRAY COATING PROCESS FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS*. 2017.
  32. Roy, M., *Surface Engineering for Enhanced Performance against Wear*. 2013. 1-319. DOI: 10.1007/978-3-7091-0101-8.
  33. Fischer, T., *Materials Science for Engineering Students*. 2009: Academic Press.
  34. Schütze, M., D.R. Holmes, and I.o. Corrosion, *Protective Oxide Scales and Their Breakdown*. 1997: Wiley.
  35. Committee, M.S.M.M., et al., *Surface Modification Technologies: Proceedings of the ... International Conference on Surface Modification Technology*. 1994: Metallurgical Society.
  36. Ren, X., L. Meng, and M. Soucek, *Environmentally Friendly Coatings*. 2016. p. 183-223. DOI: 10.1002/9781119185055.ch8.
  37. Chavda, S.P., et al. *A Review on Optimization of MIG Welding Parameters using Taguchi's DOE Method*. 2014.
  38. Badheka, V.J., et al., *GTAW Application for Additive Manufacturing and Cladding of Steel Alloys*, in *Handbook of Smart Materials, Technologies, and Devices: Applications of Industry 4.0*, C.M. Hussain and P. Di Sia, Editors. 2022, Springer International Publishing: Cham. p. 1559-1579. DOI: 10.1007/978-3-030-84205-5\_109.
  39. Rashid, L., *Overlay welding of FeCrAl alloys*. 2016. p. 50.
  40. Sun, G., et al., *Underwater Laser Welding/Cladding for High-performance Repair of Marine Metal Materials: A Review*. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2022. **35**(1): p. 5. DOI: 10.1186/s10033-021-00674-0.
  41. Liu, Z., et al., *Electrodeposition of nanocrystalline Ni and NiCr alloy coatings: Effects of Cr content on microhardness and wear resistance improvement*. Journal of Materials Research and Technology, 2024. **30**: p. 3584-3593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.100>.
  42. Singh, S., et al., *Applications and Developments of Thermal Spray Coatings for the Iron and Steel Industry*. Materials, 2023. **16**(2): p. 516.
  43. Mishra, R.S. and Z.Y. Ma, *Friction stir welding and processing*. Materials Science and Engineering: R: Reports, 2005. **50**(1): p. 1-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mser.2005.07.001>.
  44. Musalek, R., et al., *High-Temperature Cycling of Plasma Sprayed Multilayered NiCrAlY/YSZ/GZO/YAG Thermal Barrier Coatings Prepared from Liquid Feedstocks*. Journal of Thermal Spray Technology, 2021. **30**(1): p. 81-96. DOI: 10.1007/s11666-020-01107-5.
  45. Thakur, L. and H. Vasudev, *Thermal Spray Coatings*. 2021: CRC Press.
  46. Gualco, A., H.G. Svoboda, and E.S. Surian, *Effect of welding parameters on microstructure of Fe-based Nanostructured Weld Overlay deposited through FCAW-S*. Soldagem & Inspecao, 2014. **19**(4): p. 314-322. DOI: 10.1590/0104-9224/si1904.04.
  47. Wilden, J., J. Bergmann, and H. Frank, *Plasma Transferred Arc Welding—Modeling and Experimental Optimization*. Journal of Thermal Spray Technology, 2006. **15**: p. 779-784. DOI: 10.1361/105996306X146767.
  48. Sousa, J., et al., *Tribological performance under abrasive wear of Fe-Cr-C plus Nb coating deposited by FCAW process*. Wear, 2023. **523**. DOI: 10.1016/j.wear.2023.204824.
  49. Dizdar, S. and M. Kumar. *Fe-Based Powder Alloys Deposited by HVOF and HVOF for Applications Exposed to Solid Particle Erosion*. in *ITSC2015*. 2015. DOI: 10.31399/asm.cp.itsc2015p1013.
  50. Czuprynski, A., *Comparison of Properties of Hardfaced Layers Made by a Metal-Core-Covered Tubular Electrode with a Special Chemical Composition*. Materials, 2020. **13**(23). DOI: 10.3390/ma13235445.
  51. *ASTM G65-16(2021)*. Available from: <https://www.astm.org/>.

52. Malvajerdi, A.S., *Wear and coating of tillage tools: A review*. Heliyon, 2023. **9**(6): p. e16669.DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.
53. Neogy, S., et al., *Piston and Rings for Diesel Engines*, in *Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines: A Handbook*, P.A. Lakshminarayanan and A.K. Agarwal, Editors. 2020, Springer Singapore: Singapore. p. 731-761.DOI: 10.1007/978-981-15-0970-4\_20.
54. F. Morariu, A.M., C. George, A. Chicea, M. Crenganis, , *DESIGN OF MECHATRONIC MODULES THAT CAN FORM MULTIPLE CONFIGURATIONS OF MOBILE ROBOTS*. 2022.
55. F. Morariu, T.M., S.-G. Racz, *Mobile robot vision navigation strategy based on Pixy2 camera*. Materials Today: Proceedings, 2023. **93**: p. 636-640.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.327>.
56. Czupryński, A., *Comparison of Properties of Hardfaced Layers Made by a Metal-Core-Covered Tubular Electrode with a Special Chemical Composition*. Materials, 2020. **13**(23): p. 5445.
57. F. Morariu, R.D.R., , O. L. Petraşcu, A. Barsan, T. Morariu, A. Pascu, *Influence of 3D-Printing Strategies on the Compressibility of TPU 85A Elastomeric Material*. Acta Universitatis Cibiniensis. Technical Series, 2024. **76**: p. 28-33.DOI: 10.2478/aucts-2024-0004.
58. Shichalin, O.O., et al., *Functionally Gradient Material Fabrication Based on Cr, Ti, Fe, Ni, Co, Cu Metal Layers via Spark Plasma Sintering*. Coatings, 2023. **13**(1): p. 138.
59. F. Morariu, R.D.R., , O. L. Petraşcu, A. Barsan, T. Morariu, A. Pascu, *Analysis on the Impact of Industrial Agents on 3D-printed Polymeric Materials in Soft Robotics*. Materiale Plastice, 2025. **61**: p. 52-62.DOI: 10.37358/MP.24.4.5743.
60. F. Morariu A. Marosan, C.G., A. Chicea, C. Gîrjob, M. Crenganis, , *REAL-TIME DATA ACQUISITION WITH ESP32 FOR IOT APPLICATIONS USING OPEN-SOURCE MQTT BROKERS*. 2024. **19**: p. 61-68.
61. Naik, H.V. and V.D. Kalyankar, *Development of NiCrSiBC Weld Hardfacing Approach for P91 Steels Used in Steam Turbine Components*. Soldagem & Inspecao, 2021. **26**: p. 15.DOI: 10.1590/0104-9224/si26.08.
62. Lee, K.J. and D. Kim, *Effect of Tungsten Carbide Morphology, Quantity, and Microstructure on Wear of a Hardfacing Layer Manufactured by Plasma Transferred Arc Welding*. Metals, 2021. **11**(12): p. 14.DOI: 10.3390/met11122035.
63. Lozynskyi, V., et al., *Effect of Exothermic Additions in Core Filler on Arc Stability and Microstructure during Self-Shielded, Flux-Cored Arc Welding*. Crystals, 2024. **14**(4): p. 31.DOI: 10.3390/cryst14040335.
64. Perez, J., et al., *The Effect of Niobium Addition on the Operational and Metallurgical Behavior of Fe-Cr-C Hardfacing Deposited by Shielded Metal Arc Welding*. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2024. **8**(1): p. 14.DOI: 10.3390/jmmp8010038.
65. Fagundes, J.G., et al., *Application of Titanium Machining Chips in Welding Consumables for Wear Resistant Hardfacing*. Soldagem & Inspecao, 2014. **19**(3): p. 264-270.DOI: 10.1590/0104-9224/si1903.09.
66. O'Brien, A., *Welding Handbook. Volume 2 - Part 1: Welding Processes*. Vol. 2. 2004, Miami, Florida: American Welding Society. 699.
67. Gramajo, J., A. Gualco, and H. Svoboda, *Effect of Welding Parameters on Nanostructured Fe-(C, B)-(Cr, Nb) Alloys*. Materials Research-Ibero-American Journal of Materials, 2019. **22**(6): p. 8.DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2019-0469.
68. Simson, T., et al., *Comparison of Plasma Transferred Arc and Submerged Arc Welded Abrasive Wear Resistant Composite Hardfacings*. Materials Science-Medziagotyra, 2018. **24**(2): p. 172-176.DOI: 10.5755/j01.ms.24.2.19121.
69. Oo, H.Z., B. Srikarun, and P. Muangjunburee, *Correlating Hardness and Welding Dilution with the Abrasion Mass Loss of Hardfacings Welded with Different Currents and Polarities*. Metallurgist, 2018. **61**(11-12): p. 1033-1037.DOI: 10.1007/s11015-018-0604-3.
70. Saha, A. and S.C. Mondal, *Multi-objective Optimization of Welding Parameters in MMAW for Nano-structured Hardfacing Material Using GRA Coupled with PCA*. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2017. **70**(6): p. 1491-1502.DOI: 10.1007/s12666-016-0945-1.
71. Saha, A. and S.C. Mondal, *Multi-criteria selection of optimal welding parameter in MMAW hardfacing using MOORA method coupled with PCA*. International Journal of Materials & Product Technology, 2018. **57**(1-3): p. 240-255.DOI: 10.1504/ijmpt.2018.092940.
72. Abed, H., F.M. Ghaini, and H.R. Shahverdi, *Characterization of Fe49Cr18Mo7B16C4N b6 high-entropy hardfacing layers produced by gas tungsten arc welding (GTAW) process*. Surface & Coatings Technology, 2018. **352**: p. 360-369.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.08.019.
73. Bhaduri, A.K., *Development and Deployment of Welding Technologies for the Indian Sodium-Cooled Fast Reactor and Advanced Ultra-supercritical Thermal Power Programmes*. Transactions of the Indian Institute of Metals, 2021. **74**(5): p. 1035-1053.DOI: 10.1007/s12666-021-02260-3.

74. Brownlie, F., et al., *Comparison of Hot Wire TIG Stellite 6 weld cladding and lost wax cast Stellite 6 under corrosive wear conditions*. Wear, 2018. **404**: p. 71-81.DOI: 10.1016/j.wear.2018.03.004.
75. Oo, H.Z., B. Srikarun, and P. Muangjunburee, *The effects of heat input and polarity on wear resistance of Fe-3.5% Cr steel hardfaced using submerged arc welding*. Materials Research Express, 2019. **6**(10): p. 11.DOI: 10.1088/2053-1591/ab34c7.
76. Rauta, R.P., et al., *Influence of Pushing and Pulling the Electrode Procedure and Addition of Second Layer of Welding on the Wear in Hardfacing of Fe-Cr-C*. Materials Research-Ibero-American Journal of Materials, 2016. **19**(5): p. 1193-1200.DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2016-0230.
77. Saha, A. and S.C. Mondal, *Statistical Analysis and Optimization of Process Parameters in Wire Cut Machining of Welded Nanostructured Hardfacing Material*. Silicon, 2019. **11**(3): p. 1313-1326.DOI: 10.1007/s12633-018-9924-y.
78. Rajkumar, V., T.V. Arjunan, and A.R. Kannan, *Investigations on hardfacing and wear characteristics of nickel-based Inconel 625 overlaid welds over AISI 347 pipe*. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 2020. **42**(1): p. 12.DOI: 10.1007/s40430-019-2092-1.
79. Sutka, J. and R. Konar, *The Effect of Mixing the Additive Material with the Substrate during the Renovation of the Foundry Mold by TIG Welding Hardfacing*. Manufacturing Technology, 2023. **23**(3): p. 341-347.DOI: 10.21062/mft.2023.033.
80. Gucwa, M., et al., *The Effect of Type of Welding Sequence During Hardfacing Chromium Cast Iron for Erosion Resistance*. Archives of Foundry Engineering, 2017. **17**(3): p. 51-54.DOI: 10.1515/afe-2017-0089.
81. Moreno-Urbe, A.M., et al., *Flux Filling Rate Effect on Weld Bead Deposition of Recycled Titanium Chip Tubular Wire*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2024: p. 9.DOI: 10.1007/s40684-024-00658-0.
82. Rajeev, G.P., M. Kamaraj, and S.R. Bakshi, *Hardfacing of AISI H13 tool steel with Stellite 21 alloy using cold metal transfer welding process*. Surface & Coatings Technology, 2017. **326**: p. 63-71.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.07.050.
83. Günther, K. and J.P. Bergmann, *Influencing Microstructure of Vanadium Carbide Reinforced FeCrVC Hardfacing during Gas Metal Arc Welding*. Metals, 2020. **10**(10): p. 14.DOI: 10.3390/met10101345.
84. Tavodova, M., L. Falat, and V. Skultetyova, *LABORATORY ANALYSIS OF HARDFACING MATERIAL APPLIED BY PLASMA AND TIG WELDING*. Mm Science Journal, 2020. **2020**: p. 3826-3831.DOI: 10.17973/mmsj.2020\_03\_2019131.
85. Leitner, M., et al., *Wear and fatigue resistance of mild steel components reinforced by arc welded hard layers*. Surface & Coatings Technology, 2017. **330**: p. 140-148.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.09.046.
86. Wilhelm, G., G. Gött, and D. Uhrlandt, *Study of flux-cored arc welding processes for mild steel hardfacing by applying high-speed imaging and a semi-empirical approach*. Welding in the World, 2017. **61**(5): p. 901-913.DOI: 10.1007/s40194-017-0485-2.
87. Pawlik, J., et al., *On the Influence of Linear Energy/Heat Input Coefficient on Hardness and Weld Bead Geometry in Chromium-Rich Stringer GMAW Coatings*. Materials, 2022. **15**(17): p. 20.DOI: 10.3390/ma15176019.
88. Kaptanoglu, M. and M. Eroglu, *INVESTIGATION OF HARDFACING DEPOSITS OBTAINED BY USING SUBMERGED ARC WELDING FLUXES CONTAINING HIGH-CARBON FERROCHROMIUM AND FERROBORON*. Archives of Metallurgy and Materials, 2023. **68**(3): p. 895-905.DOI: 10.24425/amm.2023.145453.
89. Nguyen, M.T., et al., *An experimental study on the quality of hardfacing layer through resistance seam welding*. Journal of Advanced Joining Processes, 2024. **9**: p. 13.DOI: 10.1016/j.jajp.2024.100230.
90. Mitelea, I., et al., *Cavitation Erosion of the Austenitic Manganese Layers Deposited by Pulsed Current Electric Arc Welding on Duplex Stainless Steel Substrates*. Crystals, 2024. **14**(4): p. 17.DOI: 10.3390/cryst14040315.
91. Zahiri, R., et al., *Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding*. Surface & Coatings Technology, 2014. **260**: p. 220-229.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2014.08.076.
92. Günther, K., J.P. Bergmann, and D. Suchodoll, *Hot wire-assisted gas metal arc welding of hypereutectic FeCrC hardfacing alloys: Microstructure and wear properties*. Surface & Coatings Technology, 2018. **334**: p. 420-428.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2017.11.059.
93. Bendikiene, R., et al., *Study of submerged and plasma arc welded composite hardfacings with a novel Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-Ni reinforcement*. Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 2019. **68**(2): p. 150-157.DOI: 10.3176/proc.2019.2.06.
94. Pournajaf, E., A. Abbasi, and H. Najafi, *Microstructure and Wear Resistance of Single- and Multi-Layered Low-Carbon Fe-Cr-C-Mo-Mn Clads Deposited by Shielded Metal Arc Welding*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2021. **30**(10): p. 7704-7715.DOI: 10.1007/s11665-021-05901-2.

95. Oo, H.Z. and P. Muangjunburee, *Wear behaviour of hardfacing on 3.5% chromium cast steel by submerged arc welding*. in *10th Thailand International Metallurgy Conference (TIMETC) - Innovation through Industrial Creation*. 2017. Bangkok, THAILAND: Elsevier Science Bv.DOI: 10.1016/j.matpr.2017.10.101.
96. Mendez, P.F., et al., *Welding processes for wear resistant overlays*. Journal of Manufacturing Processes, 2014. **16**(1): p. 4-25.DOI: 10.1016/j.jmapro.2013.06.011.
97. Oo, H.Z. and P. Muangjunburee, *Hardfacing of thermite welded rail by flux-cored arc welding*. Wear, 2024. **546**: p. 14.DOI: 10.1016/j.wear.2024.205314.
98. Trembach, B., et al., *Influence of the core filler composition on the recovery of alloying elements during the self-shielded flux-cored arc welding*. Journal of Materials Research and Technology-Jmr&T, 2020. **9**(5): p. 10520-10528.DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.07.052.
99. Brezinová, J., et al., *Influence of the Hardfacing Welds Structure on Their Wear Resistance*. Metals, 2016. **6**(2): p. 12.DOI: 10.3390/met6020036.
100. Zhang, X.Z., et al., *Microstructure and Hardness Investigation of Triballoy Alloy T-400C Hardfacing Deposited on Nickel-Based Alloy Inconel 740H via Plasma Transferred Arc Welding Subjected to Long-Time Aging*. Metallography Microstructure and Analysis, 2024. **13**(1): p. 145-173.DOI: 10.1007/s13632-024-01040-x.
101. Lima, A.C., V.A. Ferraresi, and R.P. Reis, *Performance Analysis of Weld Hardfacings Used in the Sugar/Alcohol Industry*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2014. **23**(5): p. 1823-1833.DOI: 10.1007/s11665-014-0948-1.
102. Dumovic, M. and D. Dunne, *Prediction of weld metal microstructure of self-shielded arc hardfacing welds resistant to metal-to-metal wear*. Welding in the World, 2014. **58**(6): p. 831-837.DOI: 10.1007/s40194-014-0162-7.
103. Colaço, F.H.G. and O. Maranho, *Evaluation of Mass Loss of Weld-Deposited Hardfacing with Cored Wire Ti-FeCrC Alloy*. Soldagem & Inspecao, 2014. **19**(1): p. 58-68.DOI: 10.1590/s0104-92242014000100008.
104. Srikarun, B., H.Z. Oo, and P. Muangjunburee, *Influence of Different Welding Processes on Microstructure, Hardness, and Wear Behavior of Martensitic Hardfaced Cladding*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2021. **30**(12): p. 8984-8995.DOI: 10.1007/s11665-021-06109-0.
105. Sadhu, A., et al., *Performance Evaluation of Laser-Deposited Functionally Graded Stellite 6-WC Tools in Friction Stir Lap Welding of CuCrZr-SS304*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2024: p. 20.DOI: 10.1007/s11665-024-09980-9.
106. Gramajo, J., A. Gualco, and H. Svoboda, *Study of the welding procedure in nanostructured super-hard Fe- (Cr, Mo, W) - (C, B) hardfacing*. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 2020. **88**: p. 6.DOI: 10.1016/j.ijrmhm.2020.105178.
107. \*\*\**Welding Alloys*. Available from: <https://www.welding-alloys.com/product/h-frame-welding-machine/#tab-id-2>.
108. \*\*\**Manual specificații tehnice*. Available from: <https://www.welding-alloys.com/wp-content/uploads/2021/12/H-Frame.pdf>.
109. \*\*\* *Manual utilizare Welding Alloys*.
110. \*\*\* *Broșură producător Welding Alloys*. Available from: [https://www.welding-alloys.com/wp-content/uploads/2022/11/1713\\_H-Frame-Machine-flyer.pdf](https://www.welding-alloys.com/wp-content/uploads/2022/11/1713_H-Frame-Machine-flyer.pdf).
111. \*\*\* *Manual Miller Dimension 650*. Available from: <https://www.millerwelds.com/-/media/inriver/dc193-dimension-650--english.pdf>.
112. \*\*\* *Manual Miller Dimension Series*. Available from: <https://www.millerwelds.com/-/media/miller-electric/files/pdf/products/international-spec-sheets/multiprocess/dc19-2.pdf>.
113. \*\*\* *Broșură Corodur 56*. Available from: [https://www.corodur.de/datenblaetter/56\\_gb.pdf](https://www.corodur.de/datenblaetter/56_gb.pdf).
114. \*\*\* *Certificat conformitate CORODUR® 56 OA Ø 2,4 mm*.
115. Tandon, D., et al., *A Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works*. Metals, 2023. **13**(9): p. 1512.
116. M.S., G., *Note de curs sudare*. 2018: Iași.
117. O'Brien, A. and C. Guzman, *Welding Handbook. Volume 3 - Part 2: Welding Processes*. 2007: American Welding Society AWS.
118. Siva Prasad, K., C.S. Rao, and N. Damera, *Application of Taguchi based Design of Experiments to Fusion Arc Weld Processes: A Review*. International Journal of Business Research and Development, 2013. **2**: p. 1-8.DOI: 10.24102/ijbrd.v4i3.575.
119. Zoalfakar, S. and A. Hassan, *Analysis and Optimization of Shielded Metal Arc Welding Parameters on Mechanical Properties of Carbon Steel Joints by Taguchi Method*. 2017.
120. Satheesh, M. and J.E.R. Dhas, *MULTI OBJECTIVE OPTIMIZATION OF FLUX CORED ARC WELD PARAMETERS USING FUZZY BASED DESIRABILITY FUNCTION*. Iranian Journal of Science and Technology-Transactions of Mechanical Engineering, 2013. **37**(M2): p. 175-187.

121. Elrabei, T. and E. Anawa, *MULTI OBJECTIVE OPTIMIZATION OF TIG WELDING PROCESS PARAMETERS USING FUZZY BASED TAGUCHI METHODOLOGY*. Journal of Engineering Research, 2018. **September 2018**: p. 37.
122. Satheesh, M. and J. Dhas, *Multi Objective Optimization of Weld Parameters of Boiler Steel Using Fuzzy Based Desirability Function*. Journal of Engineering Science and Technology Review, 2014. **7**: p. 29-36.DOI: 10.25103/jestr.071.05.
123. Saini, V. and S. Singla, *Parameter Optimization of SAW in Hardfacing Process Using Hybrid Approach of Adaptive Stimulated Annealing and Neural Networks*. Asian Journal of Engineering and Applied Technology, 2012. **1- No 2**.DOI: 10.51983/ajeat-2012.1.2.2495.
124. Singla, Y., et al., *Enhancing the wear resistance of iron-based alloys: A comprehensive review of alloying element effects*. Journal of Manufacturing Processes, 2024. **120**: p. 135-160.DOI: 10.1016/j.jmapro.2024.04.038.
125. Scheffé, H., *The Analysis of Variance*. 1999: Wiley.
126. Kutner, M.H., *Applied Linear Statistical Models*. 2005: McGraw-Hill Irwin.
127. Montgomery, D.C., *Design and Analysis of Experiments*. 2017: John Wiley & Sons, Incorporated.
128. Montgomery, D.C., E.A. Peck, and G.G. Vining, *Introduction to Linear Regression Analysis*. 2012: Wiley.
129. Tahaei, A., et al., *The hardfacing properties of the nickel-based coating deposited by the PTA process with the addition of wc nano-particles: Wear investigation*. Tribology International, 2024. **193**: p. 109472.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109472>.
130. Suthar, F.V., et al., *Optimization of GTAW process parameters for deposition of nickel-based hardfacing alloy using Taguchi method*. Welding in the World, 2023. **67(8)**: p. 1951-1966.DOI: 10.1007/s40194-023-01540-4.
131. Zhang, S.D., et al., *Characterisation of three-dimensional porosity in an Fe-based amorphous coating and its correlation with corrosion behaviour*. Corrosion Science, 2015. **93**: p. 211-221.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2015.01.022>.
132. Zhang, S.D., et al., *Effect of porosity defects on the long-term corrosion behaviour of Fe-based amorphous alloy coated mild steel*. Corrosion Science, 2016. **110**: p. 57-70.DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2016.04.021>.
133. Liu, D., et al., *Development of Nickel-Added, Iron-Based, Slag-Free, Self-Shielded Metal-Cored Wire* *<i>The effects of nickel on the microstructure and wear performance of hardfacing alloys are investigated</i>*. Welding Journal, 2018. **97(9)**: p. 263S-272S.DOI: 10.29391/2018.97.023.
134. Ni, Y., et al., *Corrosion mechanism of CuAl-NiC abrasible seal coating system—The influence of porosity, multiphase, and multilayer structure on the corrosion failure*. Journal of Materials Science & Technology, 2021. **88**.DOI: 10.1016/j.jmst.2021.01.068.
135. Singla, Y.K., D.K. Dwivedi, and N. Arora, *On the modeling of dry sliding adhesive wear parameters of vanadium additive iron-based alloys at elevated temperatures*. Surface & Coatings Technology, 2015. **283**: p. 223-233.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2015.10.078.
136. Tougherghi, F., et al., *Microstructure, Tribological, and Electrochemical Characterization of Hardfacing WC-Ni-Cr on AISI 1045 Carbon Steel Alloy*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2022. **31(9)**: p. 7641-7652.DOI: 10.1007/s11665-022-06781-w.
137. Han, S.-W., et al., *GMA process development for pore-free zinc-coated steel sheet welding in automotive industry*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2023. **126(9)**: p. 3849-3859.DOI: 10.1007/s00170-023-11338-9.
138. Huang, Y., et al., *EMD-based pulsed TIG welding process porosity defect detection and defect diagnosis using GA-SVM*. Journal of Materials Processing Technology, 2016. **239**.DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2016.07.015.
139. García-Moreno, A.I., et al., *Image-based porosity classification in Al-alloys by laser metal deposition using random forests*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020. **110**: p. 1-19.DOI: 10.1007/s00170-020-05887-6.
140. Ahsan, R., et al., *Porosity formation mechanisms in cold metal transfer (CMT) gas metal arc welding (GMAW) of zinc coated steels*. Science and Technology of Welding & Joining, 2016. **21**: p. 209-215.DOI: 10.1179/1362171815Y.0000000084.
141. Gualco, A., H.G. Svoboda, and E.S. Surian, *Effect of Heat Input on the Fe-based Nanostructured Weld Overlay*. Soldagem & Inspecao, 2013. **18(4)**: p. 329-338.DOI: 10.1590/s0104-92242013000400005.
142. Jenney, C.L. and A. O'Brien, *Welding Handbook. Volume 1, Welding Science and Technology*. 2001: American Welding Society AWS.
143. Trembach, B., et al., *Application of Taguchi method and ANOVA analysis for optimization of process parameters and exothermic addition (CuO-Al) introduction in the core filler during self-shielded flux-cored arc welding*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2021. **114(3-4)**: p. 1099-1118.DOI: 10.1007/s00170-021-06869-y.

144. Gualco, A., et al., *Influence of Heat Input on Microstructure in Multicomponents (Cr, Mo, W, Nb, C, B) Fe-Based Nanostructured Hardfacings*. Soldagem & Inspecao, 2017. **22**(3): p. 240-248.DOI: 10.1590/0104-9224/si2203.02.
145. Bembenek, M., et al., *Microstructure and Wear Characterization of the Fe-Mo-B-C-Based Hardfacing Alloys Deposited by Flux-Cored Arc Welding*. Materials, 2022. **15**(14).DOI: 10.3390/ma15145074.
146. Guzman, C. and A. O'Brien, *Welding Handbook. Volume 4 - Part 1: Materials and Applications*. 2010: American Welding Society AWS.
147. Cunha, M.C., et al., *Microstructural and wear investigation of FeCrC and FeCrC-NbB hardfacing alloys deposited with FCAW-S*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2025. **136**(3-4): p. 1241-1251.DOI: 10.1007/s00170-024-14936-3.
148. Gucwa, M., et al., *Structure and Properties of Coatings Made with Self Shielded Cored Wire*. Archives of Foundry Engineering, 2016. **16**(3): p. 39-42.DOI: 10.1515/afe-2016-0046.
149. \*\*\* *Broșură Olympus DELTA Element*. Available from: [https://www.aaatesters.com/pub/media/datasheets/olympus\\_de-2000\\_delta\\_element\\_specifications\\_spec\\_sheet.pdf?srsltid=AfmBOoqsf9-2LBoEUWqbppYILlpFaZJZ7k4diOCjUZzCKPWYwfZRIWTm](https://www.aaatesters.com/pub/media/datasheets/olympus_de-2000_delta_element_specifications_spec_sheet.pdf?srsltid=AfmBOoqsf9-2LBoEUWqbppYILlpFaZJZ7k4diOCjUZzCKPWYwfZRIWTm).
150. Torres, H., M. Varga, and M.R. Ripoll, *High temperature hardness of steels and iron-based alloys*. Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2016. **671**: p. 170-181.DOI: 10.1016/j.msea.2016.06.058.
151. Paek, D.S. and C. Bin Jong, *Investigation of carbide precipitations on microstructure and hardness of medium carbon Cr-Ni austenite stainless hardfacing deposit with high wear resistance properties*. Welding in the World, 2022. **66**(6): p. 1111-1119.DOI: 10.1007/s40194-021-01231-y.
152. Rajkumar, V., et al. *Effect of Heat Input on Micro-Hardness and Shear Strength of Inconel 625 Hardfacing onto AISI 347 Steel pipes by GMAW Process*. in *2nd Biennial International Conference on Aerospace and Mechanical Engineering (ICAME)*. 2018. Kollam, INDIA.DOI: 10.1088/1742-6596/1355/1/012029.
153. Balaguru, S., et al., *Effect of dilution on micro hardness of Ni-Cr-B-Si alloy hardfaced on austenitic stainless steel plate for sodium-cooled fast reactor applications*. Nuclear Engineering and Technology, 2020. **52**(3): p. 589-596.DOI: 10.1016/j.net.2019.08.011.
154. Spornic, L.C., *Contributii la optimizarea tratamentelor termomecanice din cadrul ciclului de sudare electrica prin presiune* UNIVERSITATEA „POLITEHNICA ” TIMIȘOARA
155. Lippold, J.C. and D.J. Kotecki, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. 2005: Wiley.
156. Basyirun, B., et al., *Hardness and Microstructure Characterization of Hardfacing Alloys Deposited by The Shielded Metal Arc Welding (SMAW) on AISI 1045 Medium Carbon Steel*. International Journal of Integrated Engineering, 2024. **16**(5): p. 88-99.DOI: 10.30880/ijie.2024.16.05.008.
157. Pawlik, J., et al., *On the Influence of Linear Energy/Heat Input Coefficient on Hardness and Weld Bead Geometry in Chromium-Rich Stringer GMAW Coatings*. Materials, 2022. **15**(17).DOI: 10.3390/ma15176019.
158. Singh, S., et al. *Analysis of wear and hardness during surface hardfacing of alloy steel by thermal spraying, electric arc and TIG welding*. in *2nd International Conference on Functional Material, Manufacturing and Performances (ICFMMP)*. 2021. Phagwara, INDIA.DOI: 10.1016/j.matpr.2021.09.122.
159. Staff, A.I. and A.I.H. Committee, *ASM Handbook: Heat Treating*. Vol. 4. 1990: A S M International.
160. Meszaros, K., et al., *Abrasion resistance and hardness evaluation of FCAW-S hard-facing following elevated temperature exposure*. Wear, 2023. **523**.DOI: 10.1016/j.wear.2023.204759.
161. \*\*\* *Broșură INSIZE ISH-BRV* Available from: <https://m.insize.com/page-26-1203-1nl8u5.html>.
162. de Sousa, J.M.S., et al., *Abrasion resistance of Fe-Cr-C coating deposited by FCAW welding process*. Wear, 2021. **476**.DOI: 10.1016/j.wear.2021.203688.
163. TUDOR, A.M., *Note de curs - Tribosisteme Integrate*.
164. Coronado, J.J., H.F. Caicedo, and A.L. Gómez, *The effects of welding processes on abrasive wear resistance for hardfacing deposits*. Tribology International, 2009. **42**(5): p. 745-749.DOI: 10.1016/j.triboint.2008.10.012.
165. cruz-crespo, A., et al., *Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-Nb Hardfacing Alloys Deposited by S-FCAW and Cold Solid Wires*. Soldagem & Inspeção, 2016. **21**: p. 342-353.DOI: 10.1590/0104-9224/SI2103.09.
166. Blau, P.J., *ASM Handbook, Volume 18 - Friction, Lubrication, and Wear Technology*. ASM International.
167. Najarro-Quintero, R., et al., *Effect of the Matrix, Graphite and Ferrochrome-Manganese Contents in SAW Fluxes, Obtained with Steel Slag and Rice Husk Ash, on the Chemical Composition and Hardness of the Metal Deposited in One Layer*. Soldagem & Inspecao, 2022. **27**.DOI: 10.1590/0104-9224/si27.11.
168. \*\*\* *Broșură Presi MECAPRESS 3*. Available from: <https://www.presi.com/en/product/mecapress-3/>.

169. \*\*\* *Broșură ATA Saphir 530*. Available from: [https://www.neurtek.com/descargas/atm\\_saphir\\_530\\_rubin\\_500\\_en.pdf](https://www.neurtek.com/descargas/atm_saphir_530_rubin_500_en.pdf).
170. \*\*\* *Microscop Leica DM1750 M*. Available from: <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/p/leica-dm1750-m/downloads/>.
171. Ban, M., et al., *Wear Resistance Property of Hardfacing Weld Overlays Containing Metal Carbides*. Tribology Online, 2012. **7**: p. 207.DOI: 10.2474/trol.7.207.
172. Gontcharov, A., et al., *Advanced Welding Materials and Technologies for Repair of Turbine Engine Components Manufactured of High Gamma Prime Nickel Based Superalloys*. 2018. V006T24A013.DOI: 10.1115/GT2018-75862.
173. Balakrishnan, M., V. Balasubramanian, and G.M. Reddy, *Effect of PTA Hardfaced Interlayer Thickness on Ballistic Performance of Shielded Metal Arc Welded Armor Steel Welds*. Journal of Materials Engineering and Performance, 2013. **22**(3): p. 806-814.DOI: 10.1007/s11665-012-0338-5.
174. Cortés-Rodríguez, R., et al., *Mechanical properties of AISI 1045 carbon steel plates weld overlay with EnDOTec DO15 using CMT and GMAW-P*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2024. **132**(7-8): p. 3535-3551.DOI: 10.1007/s00170-024-13523-w.
175. Bakhshayesh, M.M., et al., *Evaluation of crane wheels restored by hardfacing two distinct 13Cr-4Ni martensitic stainless steels*. Journal of Materials Research and Technology-Jmr&T, 2023. **26**: p. 6067-6083.DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.08.292.
176. Kumar, N.P., N.S. Shanmugam, and G. Sreedhar, *High cycle fatigue behaviour of Inconel 625 weld overlay on AISI 316L plate*. Surface & Coatings Technology, 2021. **415**: p. 11.DOI: 10.1016/j.surfcoat.2021.127138.
177. Akpinar, D.E., S. Dilibal, and U. Gürol, *EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON WAAM-BASED FUNCTIONAL HARD-FACING BIMETALLIC PART*. Journal of Mining and Metallurgy Section B-Metallurgy, 2024. **60**(2): p. 283-293.DOI: 10.2298/jmmb240505020a.
178. Beaurin, G., et al., *Microstructural and mechanical properties evolutions of plasma transferred arc deposited Norem02 hardfacing alloy at high temperature*. Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing, 2011. **528**(15): p. 5096-5105.DOI: 10.1016/j.msea.2011.02.077.
179. Kumar, N.P. and N.S. Shanmugam, *Some studies on nickel based Inconel 625 hard overlays on AISI 316L plate by gas metal arc welding based hardfacing process*. Wear, 2020. **456**.DOI: 10.1016/j.wear.2020.203394.
180. F. Morariu, T.M., A. Bârsan, S.-G. Racz, *The Influence of Welding Row Orientation on Mechanical Properties for Hardfacing Wear Plates in 40th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics*, 2024. Institute of Fundamental Technological Research of the Polish Academy of Sciences (IPPT PAN).
181. Liu, S., et al., *Effect of Nb additive on wear resistance and tensile properties of the hypereutectic Fe-Cr-C hardfacing alloy*. Materials Today Communications, 2020. **24**.DOI: 10.1016/j.mtcomm.2020.101232.
182. F. Morariu, T.M., A. Bârsan, S.-G. Racz, A.-I. Maroșan, D. Dobrotă, *The Determination of Mechanical Properties by Tensile Testing of Hardfacing Wear Plates - in Manufacturing Science and Education*. 11th International Conference. Sibiu, 4-6 June 2025; Sibiu - În curs de publicare.
183. \*\*\* *Manual GOM ARAMIS 2M*. Available from: <https://www.manualslib.com/manual/2969735/Gom-Aramis.html>.
184. \*\*\* *Zeiss Aramis*. Available from: <https://www.zeiss.com/metrology/en/systems/optical-3d/3d-testing/aramis-adjustable.html>.