



# **Universitatea POLITEHNICA din București**

**Școala Doctorală de  
Inginerie Industrială și Robotică**

**Decizie CSUD UPB nr. 74 din 30.08.2021**

**Carmen A. PETRESCU (POPIȘTEANU)**

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Cercetări privind îmbunătățirea tehnologiei de  
recondiționare prin sudare a port-garniturilor  
de frecare de la vagoanele de călători**

**Research on improving welding reconditioning  
technology of the friction liner from passenger cars**

**-Rezumat-**

### **COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte	Prof. univ. dr. ing. Marian GHEORGHE	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător științific	Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SOLOMON	Universitatea POLITEHNICA din București
Membru comisie	Prof. univ. dr. ing. Teodor MACHEDON-PISU	Universitatea "Transilvania" din Brașov
Membru comisie	Prof. univ. dr. ing. Dănuț MIHĂILESCU	Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați
Membru comisie	Prof. univ. dr. ing. Ionelia VOICULESCU	Universitatea POLITEHNICA din București

## Cuprins

	Pag. rez.	Pag. teză
<i>Cuvânt înainte</i> .....	4	4
Introducere .....	5	5
Legendă .....	-	9
<i>Partea I. Stadiul actual al cercetărilor privind recondiționarea prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători</i> .....	7	11
<i>Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind recondiționarea pieselor în domeniul feroviar</i> .....	7	13
1.1. Siguranța circulației, principiu guvernănt în domeniul feroviar .....	7	13
1.2. Exploatarea, întreținerea și repararea materialului rulant .....	-	14
1.3. Vehiculele feroviare, construcție, subansambluri din compunere, modalități de defectare .....	-	18
1.3.1. Principalele componente constructive ale vagoanelor de călători .....	7	18
1.3.2. Posibile defecte ale subansamblurilor constructive ale vagoanelor de călători .....	-	20
1.4. Rolul port-garniturii de frecare în sistemul vagonului de călători cu frâna pe disc, construcție, exploatare, mentenanță .....	8	21
1.4.1. Generalități .....	-	21
1.4.2. Funcțiile unui sistem de frânare .....	-	21
1.4.3. Frâna cu disc .....	8	22
1.5. Repararea materialului rulant în domeniul feroviar .....	-	30
1.5.1. Specificul modului de reparare a materialului rulant .....	-	30
1.5.2. Normative, reglementări ale reparațiilor în domeniul feroviar .....	8	30
1.5.3. Uzarea pieselor și modalități posibile de remediere .....	-	31
1.5.4. Recondiționarea ca metodă de remediere a uzării pieselor .....	-	32
1.5.5. Modul de alegere a metodei de reparare .....	-	32
1.5.6 Avantajele alegerii recondiționării prin sudare ca soluție în procesul de reparație în domeniul feroviar .....	-	34
<i>Capitolul 2. Cercetări referitoare la recondiționarea pieselor din fontă în general și în domeniul feroviar în particular</i> .....	8	35
2.1. Fontele utilizate la confecționarea pieselor în domeniul feroviar, proprietăți, clasificare .....	8	35
2.1.1. Generalități .....	-	35
2.1.2. Fonte cenușii cu grafit nodular .....	8	36
2.2. Considerații metalurgice privind sudabilitatea fontelor. Particularități în recondiționarea fontei, materiale și tehnologii utilizate .....	9	37
2.2.1. Generalități .....	-	37
2.2.2. Sudarea fontei .....	-	37
2.2.3. Particularități metalurgice și tehnologice ale sudării fontelor .....	-	38
2.2.4. Recondiționarea prin sudare a pieselor din fontă .....	9	39

UPB	Teză de doctorat	Cercetări privind îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători	Carmen A. PETRESCU (POPIȘTEANU)	
	2.3.	Recondiționarea port-garniturilor de frecare prin sudare .....	9	41
	2.3.1.	Generalități .....	9	41
	2.3.2.	Materiale utilizate .....	9	42
	2.3.3.	Parametrii și tehnica de sudare .....	9	43
	2.3.4.	Metode de verificare a calității .....	-	46
		<i>Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al recondiționării prin sudare a port-garniturii de frecare de la vagoanele de călători .....</i>	11	49
		<i>Partea a II-a. Contribuții referitoare la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători .....</i>	-	51
		<i>Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători .....</i>	12	53
	4.1.	Direcții de cercetare-dezvoltare .....	12	53
	4.2.	Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare .....	12	53
	4.3.	Metodologia de cercetare-dezvoltare .....	13	54
		<i>Capitolul 5. Contribuții privind gestionarea riscurilor datorate înlocuirii tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare .....</i>	14	57
	5.1.	Legislația europeană și națională referitoare la managementul riscului în cazul unei schimbări cu impact asupra siguranței feroviare .....	14	57
	5.2.	Analiza schimbării tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare, realizarea sistemului de management al riscului .....	14	58
	5.2.1.	Analiza schimbării tehnologiei de recondiționare prin sudare .....	14	58
	5.2.2.	Sistemul de Management al Riscurilor aferent schimbării tehnologiei de recondiționare prin sudare .....	15	61
		<i>Capitolul 6. Cercetări și contribuții privind îmbunătățirea recondiționării prin sudare a port-garniturilor de frecare de la frâna cu disc a vagoanelor de călători .....</i>	17	69
	6.1.	Cercetări privind aplicarea recondiționării prin sudare manuală a port-garniturilor de frecare .....	17	69
	6.1.1.	Generalități .....	-	69
	6.1.2.	Recondiționarea prin încărcare prin sudare manuală a port-garniturilor de frecare – tehnologia actuală .....	17	69
	6.1.3.	Măsurarea deformațiilor din piesele recondiționate prin sudare liberă și în dispozitiv .....	17	75
	6.1.4.	Determinarea durității, structurii și diluției zonelor recondiționate prin sudare .....	19	80
	6.1.5.	Măsurarea tensiunilor din probele recondiționate .....	21	84
	6.1.6.	Concluzii parțiale privind rezultatele obținute .....	-	96
	6.2.	Cercetări privind îmbunătățirea calității recondiționării prin utilizarea procedeele de sudare FCAW semi-mecanizată și mecanizată .....	24	97
	6.2.1.	Descrierea planului experimental, materiale, echipamente și tehnici utilizate .....	24	98
	6.2.2.	Rezultate experimentale .....	25	102

<i>Capitolul 7. Cercetări experimentale privind comportarea la uzare a port-garniturilor de frecare recondiționate, calculul costurilor și elemente de asigurare a calității</i> .....	27	109
7.1. Determinări comparative la uzare pentru port-garniturile de frecare recondiționate .....	27	109
7.1.1. Testarea la microabraziune .....	27	109
7.2. Calculul costurilor aplicării procedeelor de recondiționare prin sudare ale port-garniturilor de frecare .....	29	113
7.2.1. Generalități .....	29	113
7.2.2. Calculul consumului de materiale, manoperă și a costurilor aferente celor trei procedee de sudare .....	29	113
7.3. Elaborarea procedurii instrucțiune de lucru privind recondiționarea prin sudare mecanizată cu sârmă tubulară a port garniturii de frecare (FCAWm).....	31	123
<i>Capitolul 8. Concluzii finale și contribuții principale la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători</i> .....	31	127
Anexa 1 Procedură instrucțiune de lucru „Recondiționarea prin sudare a port-garniturilor de frecare aferente vagoanelor de călători prin procedeul FCAWm”.....	-	131
<b>Bibliografie</b> .....	34	143

## ***Cuvânt înainte***

Prezenta teză de doctorat a avut ca principal subiect cercetarea privind îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturii de frecare de la vagoanele de călători.

Programul de doctorat a constat din pregătirea, prezentarea și susținerea examenelor și a rapoartelor științifice, propunerea și dezvoltarea de tehnologii de recondiționare ce pot fi transferate și implementate imediat în organizațiile ce au ca obiect reparația port-garnitura de frecare. În cadrul cercetărilor au fost analizate și verificate mai multe tehnologii de sudare utilizându-se procedee de sudare diferite, precum sudarea manuală cu electrod învelit (SMAW), sudarea în mediu de gaz protector cu sârma tubulară (FCAW) semi-mecanizată și (FCAWm) mecanizată. În baza rezultatelor a fost elaborată o tehnologie de încărcare optimizată, rezultatele obținute fiind prezentate în cadrul unor conferințe internaționale sau publicate în cadrul unor reviste.

Pe întreaga perioadă în care am desfășurat cercetările teoretice și practice care au condus la finalizarea tezei de doctorat am fost îndrumată și susținută într-o manieră academică impecabilă și de înaltă ținută profesională și umană de Domnul Prof.univ.dr.ing Gheorghe SOLOMON, conducătorul științific al prezentei lucrări.

Am beneficiat de permanenta implicare și ajutorul inestimabil al Domnului Conf.univ.dr.ing Dumitru-Titi CICIC care a fost alături întotdeauna în periplul teoretic și experimental de realizare a tezei ghidând cu profesionalism cercetările, realizarea articolelor și a conținutului tezei.

Pentru partea de analiză și interpretare de înaltă calitate a probelor metalografice realizate în cadrul laboratorului LAMET din cadrul UPB ([www.lamet.ro](http://www.lamet.ro)), laborator acreditat RENAR cu Certificat nr. LI 754/12.02.2009, exprim deosebite mulțumiri Doamnei Prof.univ.dr.ing. Ionelia VOICULESCU de ale cărei sfaturi am beneficiat pe tot parcursul realizării lucrării cât și în cadrul susținerii preliminare a tezei în comisie, sfaturi de o deosebită valoare pentru a conferi tezei o ținută adecvată pentru prezentarea finală.

Adresez multe mulțumiri fostului meu coleg de facultate, Domnul Conf.univ.dr.ing Gabriel GÂRLEANU cu ajutorul căruia am realizat toate probele sudate și întotdeauna a avut o îndrumare practică pentru aspectele experimentale.

Alături, cu sfaturi și ajutor nemijlocit, mi-au fost și Domnul Conf.univ.dr. ing. Florin BACIU de la Catedra de Rezistență în realizarea încercărilor de determinare a tensiunilor, Doamna Conf.univ.dr.ing Georgiana CHISIU, în realizarea testelor de microabraziune, Domnul Prof.univ.dr.ing Corneliu RONTESCU și Domnul Conf.univ.dr.ing Mihai-Ion VASILE la partea de experimente și analize realizate în laboratoarele facultății.

Pe parcursul acestui periplu academic m-a însuflețit dedicarea față de actul academic, de actul pedagogic și pasiunea față de domeniul nostru, al sudurii, al tuturor celor menționați mai sus cărora le sunt recunoscătoare.

Multumesc Domnului dr. ing. Dan BĂIAȘU, Director Tehnic în cadrul Atelierelor C.F.R. Grivita S.A și colectivului din cadrul Secției Mecanice, Atelierul de Sudură, pentru sprijinul deosebit oferit pe toată perioada cercetărilor.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei pentru înțelegerea și sprijinul acordat și în mod special mamei mele, un inginer sudor exceptional care a fost persoana care m-a inspirat în dorința de excelență în profesie.

*Carmen A. Petrescu (Popișteanu)*



## Introducere

Uniunea Europeană promovează transportul feroviar de călători acesta fiind prietenos cu mediul. Esențială pentru creșterea competitivității transportului feroviar de călători este obținerea unei calități crescute cu costuri cât mai reduse, respectiv realizarea exploatării și mentenanței materialului rulant în condiții și la standarde cât mai înalte cu costuri adecvate.

Recondiționare ca tehnologie de reparație oferă costuri optime dar și timpi de repunere în funcționare mult mai reduși pentru piese. În cadrul lucrării sunt prezentate rezultatele experimentale obținute în urma cercetărilor efectuate ce au avut ca obiect identificarea unei tehnologii de recondiționare superioare calitativ, adecvată recondiționării prin sudare a port-garniturii de frecare.

Port-garnitura de frecare este parte din instalația de frânare cu frână pe disc a vagoanelor de călători defectarea acesteia produce: mersul frânat al trenului, de unde rezultă uzuri la roată ce pot rebuta roata, și/sau producerea de scântei ce pot incendia vagonul, sau, imposibilitatea frânării, care poate conduce la accidente grave, cu posibile victime și pagube materiale, efecte la fel de grave.

Partea I cuprinde stadiul actual al cercetărilor privind subiectul tezei.

În capitolul 1, intitulat ”Stadiul actual al cercetărilor privind recondiționarea pieselor în domeniul feroviar”, s-au prezentat: aspecte teoretice referitoare la construcția, funcționarea și mentenanța vagoanelor de călători, în general, cu detaliu pe instalația de frână; aspecte teoretice referitoare la repararea prin recondiționare a pieselor de la vagoanele de călători, în general, și a pieselor de la instalația de frână, în particular.

Capitolul 2, denumit ”Cercetări referitoare la recondiționarea pieselor de fontă, în general, și în domeniul feroviar, în particular” analizează și sintetizează conceptele teoretice și practice referitoare la: proprietățile, clasificarea, particularitățile metalurgice și tehnologice ale sudării fontelor cu grafit nodular, materialul din care sunt fabricate port-garniturile de frână analizate în cadrul tezei ; modul actual de recondiționare prin sudare al port-garniturilor de frecare.

Capitolul 3, prezintă concluziile privind stadiul actual al recondiționării prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători.

Partea a II a cuprinde contribuțiile referitoare la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători.

Capitolul 4, prezintă obiectivul principal al tezei, direcțiile de cercetare abordate și metodologia de cercetare utilizată pentru realizarea obiectivului propus.

În capitolul 5, intitulat ”Contribuții privind gestionarea riscurilor datorate înlocuirii tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare” s-a realizat : analiza schimbării în conformitate cu cerințele din cadrul Regulamentului de punere în aplicare (UE) nr. 402/2013 al Comisiei privind metoda de siguranță comună pentru evaluarea și aprecierea riscurilor”; sistemului de management al riscurilor pentru schimbarea de tehnologie.

În capitolul 6, intitulat ”Cercetări și contribuții privind îmbunătățirea recondiționării prin sudare a port-garniturilor de frecare de la frâna cu disc a vagoanelor de călători”, sunt prezentate și analizate: premisele actuale referitoare la recondiționarea port-garniturii de frecare prin sudare SMAW (stabilirea mărimilor deformațiilor prin scanare 3D, măsurare tensiunilor prin metoda rozetei tensometrice găurite -metoda Mathar, analiza microstructurală și a durității probelor realizate prin procedee de sudare diferite) ; planul experimental, materialele, echipamentele și tehnicile utilizate, rezultatele obținute în urma efectuării experimentelor precum și analiza rezultatelor și concluziile aferente în cazul recondiționării PGF prin utilizarea procedeeleor de sudare în mediu de gaz protector cu sârmă tubulară, semi-mecanizată și mecanizată.

Capitolul 7, denumit "Cercetări experimentale privind comportarea la uzare a port-garniturilor de frecare recondiționate, calculul costurilor și elemente de asigurare a calității", prezintă : rezultatele încercărilor de determinare a uzurii stratului depus prin testarea la microabraziune ; analiza economică comparativă a celor trei procedee de recondiționare ;elaborarea unei proceduri "Instrucțiune de lucru".

În ultimul capitol, capitolul 8 "Concluzii finale și contribuții principale la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători", se prezintă o sinteză a concluziilor de pe parcursul cercetărilor, concluziile generale precum și contribuțiile originale aduse tehnologiei de sudare și perspectivele și direcțiile de dezvoltare ulterioară.

**Cuvinte cheie:** port-garnitura de frecare, recondiționare, îmbunătățire, tehnologii de recondiționare prin sudare,

## Capitolul 1. Stadiul actual al cercetărilor privind recondiționarea pieselor în domeniul feroviar

### 1.1. Siguranța circulației, principiu guvernănt în domeniul feroviar

Transportul feroviar a reprezentat dintotdeauna, atât un sector strategic de interes national, cât și un serviciu important pentru populație [93]. Transportul pe căile ferate este considerat un mod economic, eficient, ecologic și foarte sigur de transport [2], iar siguranța feroviară este conceptul central care guvernează activitatea din domeniul feroviar.

Siguranța circulației materialului rulant reprezintă un concept complex, conform căruia transportul feroviar trebuie să se desfășoare fără nici un pericol pentru persoane și mărfuri, materialul rulant, calea ferată și mediul înconjurător [119]. *Siguranța feroviară a trenurilor de călători depinde de modul de exploatare, întreținere și de reparare a vehiculelor feroviare care sunt cele trei părți operaționale de bază ale activității de transport feroviar de călători, cu respectarea tuturor normativelor și reglementărilor în vigoare.*

#### 1.3.1. Principalele componente constructive ale vagoanelor de călători

Construcția vagoanelor este diferită, în raport cu destinația lor, dar în general, oricare vagon are următoarele părți: cutia, șasiul, aparatele de suspensie și rulare, aparatele de tracțiune, aparatele de legare, aparatele de ciocnire, instalația de frână, instalația de iluminat și încălzit.

În Fig. 1.8. se regăsește schița constructivă a unui vagon de călători.

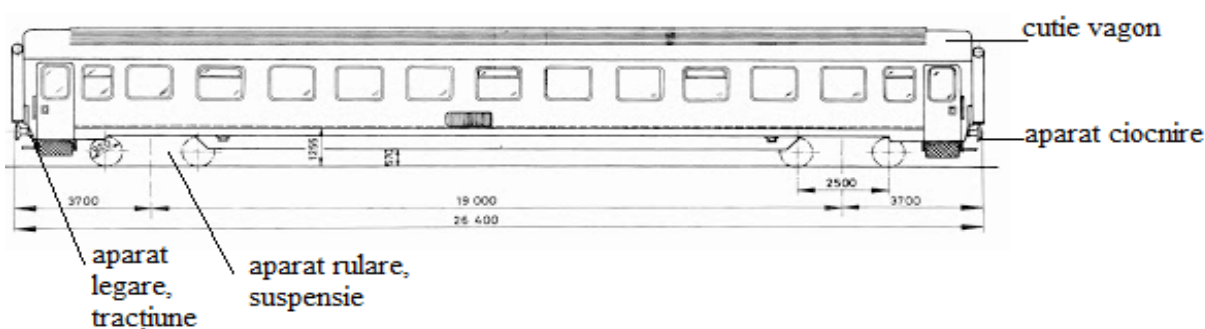


Fig. 1.8. Schița constructivă vagon călători [94]

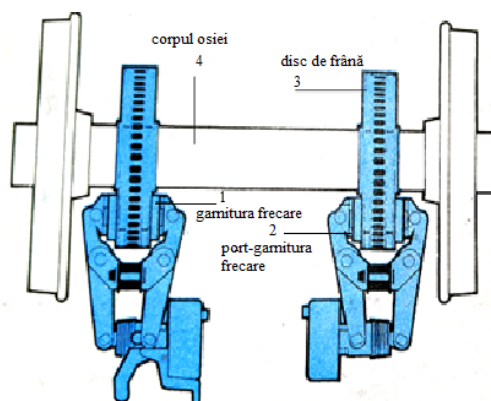


Fig. 1.9. Frână cu disc [48]



## 1.4. Rolul port-garniturii de frecare în sistemul vagonului de călători cu frână pe disc, construcție, exploatare, mentenanță

### 1.4.3. Frâna cu disc

Inițial, frâna cu disc prezentată în Fig. 1.12., a fost introdusă la vagoanele de călători de viteză mare, datorită multiplelor avantaje prezentate față de frâna cu saboți a cărei forță de frânare a fost depășită, în special la viteze mari. Uzura garniturii de frecare depinde de numeroși factori: presiunea de apăsare pe disc; viteza de circulație; temperatura de funcționare; rugozitatea discului; tipul garniturii; starea de îmbătrânire și solicitarea precedentă. În mediul umed uzura crește cu 50% [48].

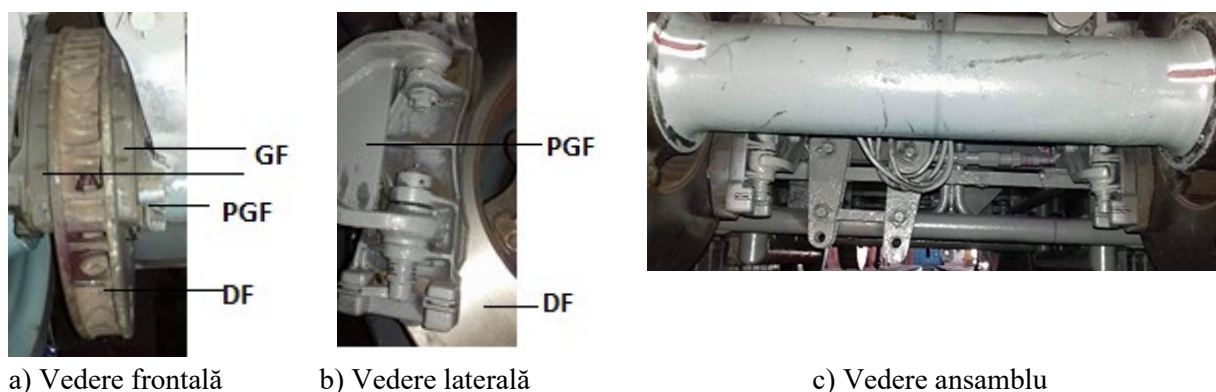


Fig. 1.12. Frână cu disc  
PGF-port-garnitură de frecare, DF-disc frână, GF-garnitură de frecare [34]

### 1.5.2. Normative, reglementări ale reparațiilor în domeniul feroviar,

Normativul care face referire la reparațiile la instalația de frână este ”Instrucția pentru repararea frânelor de vagoane nr. 938/1986” [66]. Pentru reparațiile prin sudare se aplică Ordinul nr. 1013/2006 “Norma tehnică feroviare Vehicule de cale ferată. Recondiționarea prin sudare a subansamblurilor componente ale vagoanelor de marfă și călători. Prescripții tehnice pentru operațiile de sudare” [70].

Abordarea recondiționării prin sudare a port-garniturii de frână, trebuie făcută ținând cont de reglementările în vigoare. Procedul de recondiționare actual este reprezentat de sudarea manuală cu electrod învelit, urmat de o prelucrare mecanică la cotele nominale. Calitatea reparațiilor, realizate prin procedeul SMAW, este dependentă de nivelul de pregătire și conștiinciozitatea sudorului, fapt pentru care se caută soluții alternative în cadrul cărora implicarea sudorului să fie minimizată.

## Capitolul 2. Cercetări referitoare la recondiționarea pieselor din fontă în general și în domeniul feroviar în particular

### 2.1. Fonte utilizate la confecționarea pieselor în domeniul feroviar, proprietăți, clasificare

#### 2.1.2. Fonte cenușii cu grafit nodular

Fonta cu grafit nodular are avantajul unor caracteristici mecanice superioare, datorită formei grafitului. Fontele nodulare au proprietăți magnetice bune, fluiditate bună, contracție liniară mică. Simbolizarea acestor fonte cuprinde o serie de informații literare sau numerice, Fgn urmat de rezistența la tracțiune, în MPa și alungirea în procente [13]. Fontele nodulare se folosesc la fabricarea organelor de mașini supuse la oboseală, la uzare și la șocuri puternice, cum este și cazul port-garniturii de frecare.

## 2.2. Considerații metalurgice privind sudabilitatea fontelor, particularități în recondiționarea fontei, materiale și tehnologii utilizate

### 2.2.4. Recondiționarea prin sudare a pieselor din fontă

Sudarea ca metodă de recondiționare este foarte răspândită deoarece prezintă avantaje deosebite și se pot recondiționa marea majoritate a tipurilor de piese, restricțiile ținând cont de material și de accesibilitatea în zonă. Principalele avantaje sunt: posibilitatea reducerii consumului de materiale speciale prin realizarea de piese din materiale comune și depunerea prin sudare de materiale deosebite alegerea materialului de adaos în funcție de factorii tehnic-economici se face prin ordonarea din punctul de vedere al costului [12].

Recondiționarea prin încărcare prin sudare constă în depunerea unui strat de material prin sudare pe suprafața unei piese în vederea compensării uzurii și refacerii dimensiunilor nominale ale piesei, între stratul depus și piesă realizându-se un monolitism.

Elementele geometrice ale unei zone de recondiționare prin depunere prin sudare sunt: lățimea stratului, înălțimea stratului, pătrunderea. Procedurile de sudare influențează geometria îmbinării, natura și amploarea transformărilor structurale, nivelul tensiunilor și deformărilor și valoarea caracteristicilor mecanice rezultate (duritate, rezistență) [41].

## 2.3. Recondiționarea port-garniturilor de frecare prin sudare

### 2.3.1. Generalități

Subansamblul garnitură de frecare (GF)-port-garnitură de frecare (PGF) este parte componentă a echipamentului timoneriei de frână. Port-garnitura de frecare asigură prinderea garniturii de frecare prin intermediul unui profil coadă de rândunică (Fig. 2.3).

Din cauza forțelor de frecare se produce uzura în timp a unghiurilor profilului ce are ca efect prinderea necorespunzătoare, uneori ajungându-se chiar până la căderea garniturii de frecare având ca efect ne-îndeplinirea funcției de frânare.

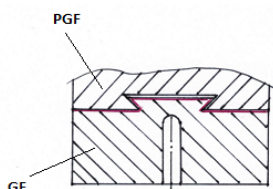


Fig. 2.3. Ansamblu GF-PGF, prindere în profil coadă de rândunică [34]

Recondiționarea port-garniturii de frecare se efectuează pentru a elimina uzurile care apar pe flancul profilului coadă de rândunică. Pentru încărcarea cu sudură a zonei uzate și prelucrate mecanic se folosește procedeul de sudare manuală cu arc electric cu electrod învelit (SMAW).

### 2.3.2. Materiale utilizate

Conform proiectantului port-garniturii de frână, materialul de bază utilizat la realizarea produsului PGF este o fontă cu grafit nodular, EN-GJS-400-15C [83]. Electrocul utilizat a fost E C NiFe-CI-BG-11, conform EN ISO 1071 [84].

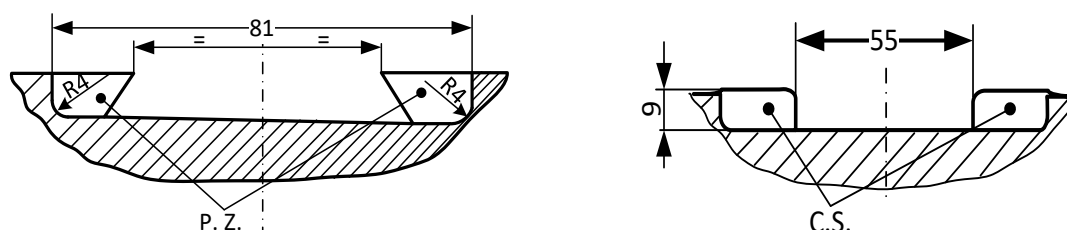
### 2.3.3. Parametrii și tehnica de sudare

Parametrii utilizați sunt cei din Tabelul 2.6. și se încadrează în parametrii recomandați de producător.

Tabel 2.6. Parametrii tehnologiei de recondiționare prin sudare

Nr. treceri	Diametru electrod [mm]	Intensitatea Curentului [A]		Tensiune [V]	Tip curent,	Viteza de sudare [mm/min]		Energia liniară [J/mm]	
		Min.	Max.			Min.	Max.	Min.	Max.
1	2,5	90	110	19	DC	120	160	684	627
2...n	3,25	115	120	21	DC	150	180	772.8	672

S-a înlăturat prin prelucrare mecanică profilul coadă de rândunică rezultând profil L la 90° (Fig 2.4).



a) prelucrare mecanică înlăturare profil coadă rândunică uzat (P.Z. prelucrare zona) b) material depus prin sudare manuală (C.S. – cordon sudura)

Fig. 2.4. Stadiile și dimensiunile recondiționării prin sudare a PGF [34]

S-a realizat fixarea cu strângere a piesei într-un dispozitiv special proiectat și realizat pentru această piesă (Fig. 2.5.).

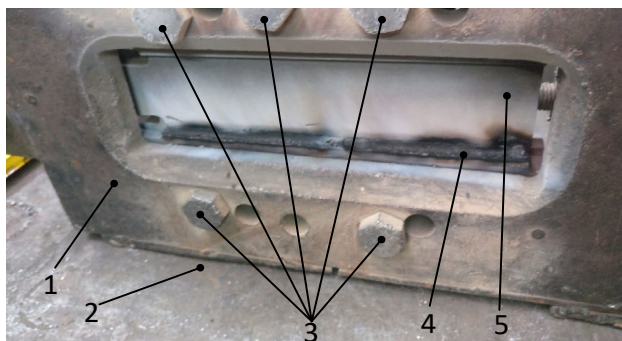


Fig. 2.5. Piesa sudată cu fixare în dispozitiv [34]  
1-dispozitiv prindere; 2-stand sudare; 3-sistem prindere; 4-cordon sudat; 5-PGF

Pentru o pătrundere mai bună, dispozitivul și piesa au fost înclinate la un unghi de 90° față de planul orizontal. Depunerea rândurilor a fost cu începerea de la același capăt, de la stânga spre dreapta, cu înlăturarea zgurii cu ciocanul urmată de curățarea cu perie de sârmă după fiecare cordon depus, cu alte pauze doar pentru înlocuirea electrodului. S-a realizat sudarea pe o parte până la completarea înălțimii necesare apoi s-a rotit piesa cu 180° și s-au depus și pe partea cealaltă cordonane până la completarea aceleiași înălțimi. Răcirea piesei s-a realizat pe bancul de sudare.

### C. Piesa recondiționată

Pentru o analiză în detaliu, din piesa recondiționată s-au prelevat probe ce s-au pregătit în vederea analizei metalografice și de durități (Fig 2.9.).

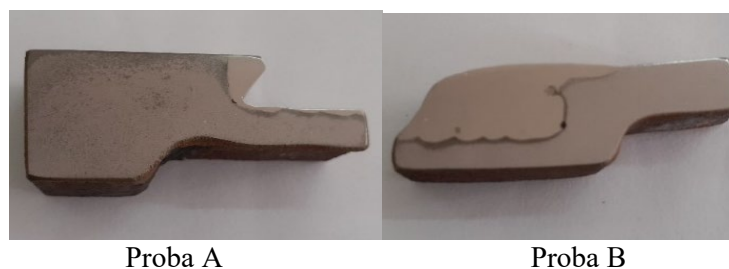
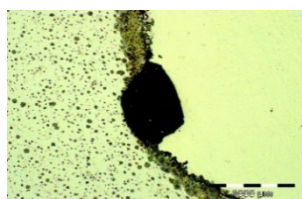
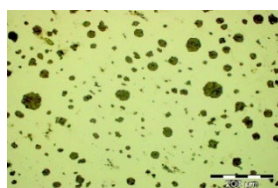


Fig. 2.9. Probe prelevate pentru analiză metalografică la sudarea manuală prelucrate. [34]

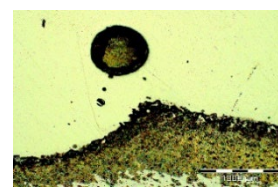
Probele rezultate au fost supuse analizei metalografice și încercărilor de determinare a durității. Câteva aspecte macrostructurale sunt indicate în figura Fig. 2.10.



Imperfecțiune de tip incluziune și lipsă de aderență pe LF 50x



MB, 200x. Fontă cu grafit nodular, Fără atac chimic



Imperfecțiune de tip por localizat în cusătură în imediata vecinătate a liniei de fuziune, 50x

Fig. 2.10. Analiza microstructurală probe prelevate sudare manuală [34]

Analiza probelor sudate s-a realizat în Laboratorul acreditat pentru încercări metalografice al Universității Politehnice București-LAMET.

### **Capitolul 3. Concluzii privind stadiul actual al recondiționării prin sudare a port-garniturii de frecare de la vagoanele de călători**

Din analiza stadiului actual al recondiționării prin sudare a port-garniturilor de frecare existente în componența vagoanelor de călători, se pot extrage mai multe concluzii, cele mai importante fiind următoarele:

- domeniul feroviar este un domeniu strict reglementat, fiind guvernat de un principiu de la care nu se admit abateri: siguranța feroviară (v. § 1.1);
- Uniunea Europeană are ca politică prioritară promovarea transportului feroviar de călători, datorită avantajelor oferite de acest sistem de transport mediului înconjurător, din punctul de vedere al poluării. La baza competitivității transportului feroviar din România trebuie să se regăsească desfășurarea activităților de întreținere, reparație a materialului rulant în condiții și la standarde cât mai înalte, cu costuri cât mai reduse (v. § 1.2);
- port-garnitura de frecare e o piesă ce face parte din instalația de frână a vagoanelor de călători. Defectarea unei părți componente a sistemului de frânare poate produce efecte grave precum: mersul înfrânat al trenului cu apariția unor scântei producătoare de posibile incendii sau lipsa frânării ceea ce poate conduce la grave accidente soldate cu pierderi economice sau de vieți omenești (v. § 1.3);
- uzarea pieselor componente ale frânei cu disc se datorează forțelor ce acționează la frânarea vagoanelor cât și a temperaturilor rezultate ca urmare a frecării între componente. Uzarea port-garniturii de frecare constă în deteriorarea formei și dimensiunilor profilului coadă de rândunică ce asigură prinderea garniturii de frecare ce este aplicată pe discul de frână în momentul frânării (v. § 1.4);
- activitatea de reparații în domeniul feroviar este reglementată de mai multe acte legislative precum Ordine ale Ministerului Transporturilor, Instrucții interne feroviare, Regulamente naționale și internaționale, Prescripții tehnice și Specificații tehnice, Standarde etc. Ca orice activitate de reparație, și recondiționarea prin sudare a port garniturii de frână trebuie făcută ținând cont de toate restricțiile și impunerile din documentele de referință referitoare la instalația de frânare și la reparațiile prin sudare;

- datorită imposibilității aprovizionării cu port garnituri noi, recondiționarea prin sudare este singura variantă aplicabilă pentru repararea PGF; dezideratul principal al tezei este reprezentat de elaborarea unei tehnologii de sudare care să conducă la o creștere calitativă a reparației și a rezistenței la uzare a piesei după reparare concomitent cu scăderea costurilor (v. § 1.5);
- conform proiectantului port-garniturii de frecare, materialul de bază utilizat la realizarea acesteia este o fontă cu grafit nodular, EN-GJS-400-15C având în vedere că recondiționarea se realizează prin sudare, s-a analizat sudabilitatea fontelor cu grafit nodular și particularitățile în recondiționarea fontei, (v. § 2.2);
- recondiționarea port-garniturii de frecare se efectuează pentru a elimina uzurile care apar pe flancul profilului coadă de rândunică și se efectuează prin pregătirea prealabilă, prelucrări mecanice prin așchiere, cu scopul de eliminare a uzurii și obținerea unui profil L, urmată de încărcarea ambelor flancuri; după verificarea straturilor depuse, surplusul de material este îndepărtat prin prelucrarea mecanică, pentru aducerea la cotele nominale;
- în momentul de față pentru depunerea prin sudare se folosește procedeul de sudare manuală cu electrod învelit (SMAW) iar ca material de adaos electrodul E C NiFe-1-BG-11 (EN ISO 1071);
- s-au prezentat parametrii și tehnica de sudare, piesele rezultate au fost supuse examinării cu lichide penetrante și s-au prelevat probe ce au fost analizate metalografic, în urma analizelor observându-se imperfecțiuni de tipul: pori, microfisuri, incluziuni, lipsă de aderență (v. § 2.3);
- problemele care apar, în zona reparației, prin utilizarea procedeului SMAW, demonstrează necesitatea cercetărilor experimentale și determinărilor pentru o nouă tehnologie de recondiționare, care să reducă timpii de reparație, să crească nivelul calitativ al piesei recondiționate, să scadă costurile și să ducă la obținerea de rezultate favorabile în mod constant (v. § 2.4).

## **Capitolul 4. Direcțiile, obiectivul principal și metodologia de cercetare-dezvoltare a tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători**

### **4.1. Direcții de cercetare-dezvoltare**

Pe baza celor desprinse din analiza stadiului actual, se apreciază a fi de actualitate următoarele direcții de cercetare-dezvoltare privind tehnologia de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători:

- Stabilirea necesității înlocuirii tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare;
- Stabilirea riscurilor generate de înlocuirea unei tehnologii de recondiționare prin sudare din domeniul feroviar;
- Stabilirea unor tehnologii alternative la tehnologia actuală și care să conducă la reducerea timpilor de recondiționare, costurilor și la caracteristici superioare;
- Elaborarea unei tehnologii îmbunătățite de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare.

### **4.2. Obiectivul principal al activității de cercetare-dezvoltare**

Având în vedere datele și concluziile din analiza stadiului actual, precum și direcțiile de cercetare-dezvoltare privind tehnologia de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători, se determina că obiectivul principal al activității de doctorat constă în

dezvoltarea unei tehnologii îmbunătățite de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători.

### 4.3. Metodologia de cercetare-dezvoltare

Sistematizând, metodologia de cercetare dezvoltare va fi constituită din:

a. Procedura de cercetare:

- analizarea documentelor (desene de ansamblu, rezultate, înregistrări, etc.) de la organizația ce se ocupă cu recondiționarea (AG) prin sudare a PGF;
- demararea unui amplu studiului bibliografic pentru identificarea unor cercetări similare;
- realizarea unor probe similare cu cele realizate de organizația ce se ocupă de recondiționarea PGF; analizarea cantitativă și calitativă a probelor obținute și compararea rezultatelor cu cele obținute de AG;
- identificarea modului de gestionare a riscurilor posibile generate de o potențială înlocuire a tehnologiei actuale de recondiționare;
- elaborarea de noi tehnologii de recondiționare a PGF care să reducă timpii de recondiționare, costurile și să conducă la caracteristici superioare ale depunerii de recondiționare;
- realizarea de probe cu noile tehnologii propuse pentru înlocuirea tehnologiei existente;
- analizarea cantitativă și calitativă a probelor rezultate din aplicarea noilor tehnologii;
- compararea rezultatelor obținute din aplicarea noilor tehnologii cu cele obținute de AG;
- stabilirea tehnologiei îmbunătățite de recondiționare a PGF;elaborarea unei proceduri instrucțiune de lucru care să stea la baza aplicării tehnologiei noi propuse;
- stabilirea rezistenței la uzare a probelor realizate cu tehnologia actuală și cu tehnologiile noi propuse;
- analiza economică comparativă a tuturor tehnologiilor de recondiționare analizate;

b. Metodele alese:

Metodele ce se vor utiliza sunt atât cantitative cât și calitative. Se vor analiza rezultatele și statisticile pe care le deține AG și în baza acestora se va stabili direcția legată de schimbarea tehnologiei sau a procedeuului de recondiționare. Se vor utiliza metode de examinare nedistructive, examinarea VT, PT, măsurarea deformațiilor, etc. dar și metode de control distructiv, determinarea durtății, rezistenței la uzare, analize micro și macro-structurale, etc.

c. Instrumentele de cercetare:

Se vor utiliza soluții informatice, generale (EXCEL, VISIO) și particularizate (ARAMIS, SW, ARTCAM), investigații cauzale.

d. Rezultatele așteptate:

Rezultate așteptate sunt cele definite în cadrul subcapitolului 4.1. care conduc la înlocuirea tehnologiei de recondiționare actuale cu tehnologia de recondiționare îmbunătățită dezvoltată în cadrul tezei.

## Capitolul 5. Contribuții privind gestionarea riscurilor datorate înlocuirii tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare

Orice schimbare de ordin tehnic, operațional și/sau organizațional în domeniul feroviar care are impact asupra siguranței feroviare se analizează în mod obligatoriu în conformitate cu Regulamentul de punere în aplicare (UE) nr. 402/2013 [50]. Schimbarea tehnologiei de recondiționare prin sudare a PGF este o schimbare ce intră în această categorie și se va analiza conform [36].

### 5.1. Legislația europeană și națională referitoare la managementul riscului în cazul unei schimbări cu impact asupra siguranței feroviare

O preocupare majoră din domeniul feroviar este înțelegerea și eliminarea riscurilor operațiilor feroviare. Subiectul riscului a devenit din ce în ce mai mult un punct de interes comun dintre entități reprezentând diferitele sectoare din domeniul feroviar (construcție, mentenanță, exploatare feroviară).

### 5.2. Analiza schimbării tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare, realizarea sistemului de management al riscului

Prima etapa a procesului de management al riscului în domeniul feroviar este analiza importanței schimbării pe baza criteriilor prevăzute de Regulamentul 402/2013 și determinarea impactului asupra siguranței feroviare.

#### 5.2.1. Analizei schimbării tehnologiei de recondiționare prin sudare

În conformitate cu prevederile Regulamentului (UE) nr. 402/2013, pentru a decide gradul de importanță al schimbării, o echipa de analiză și evaluare formată din experți interni parcurge etapele și criteriile indicate în Tabelul 5.1.

Schimbarea, propusă prin teza de doctorat, constă în modificarea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturii de frecare de la frâna cu disc. prezentată în Fig. 5.3. și Fig.5.4., de la vagoanele de călători cu frână cu disc.

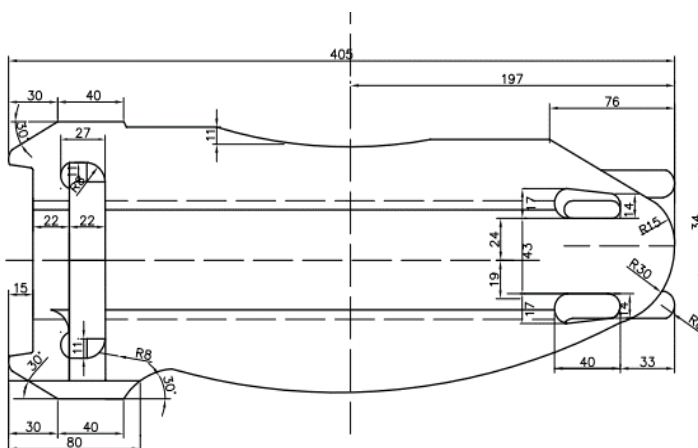


Fig 5.3. Port-garnitura de frecare [36]

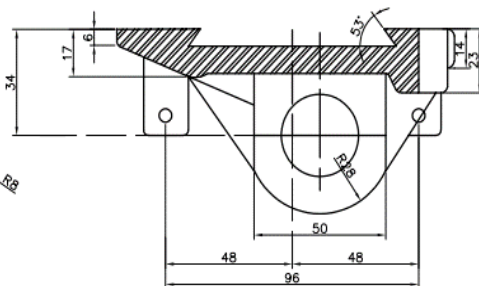


Fig. 5.4 Sectiune X-X, port-garnitură de frecare [36]

Tabel 5.1. Evaluare schimbare conform criteriilor impuse de art. 4, alin (2), Regulament (UE) nr 402

Nr.crt.	Criterii	Descriere
a.	<b>Consecințe în caz de avarie:</b> scenariu pesimist credibil pentru cazul în care sistemul aflat în curs de evaluare suferă o avarie, ținându-se seama de existența barierelor de siguranță din afara sistemului în curs de evaluare;	După modificarea tehnologiei de sudare, pot rezulta defecte ce pot afecta piesa astfel încât să nu asigure funcțiile pentru care este proiectată și odată repus în circulație vagonul, se pot produce incidente cu consecințe asupra sistemului feroviar - <i>importanță majoră</i>
b.	<b>Elemente noi folosite la realizarea schimbării:</b> aceasta privește atât aspectele inovatoare din sectorul feroviar, cât și elementele care reprezintă o noutate doar pentru organizația care realizează schimbarea;	Elementele noi introduse de schimbare:- sudare mecanizată în locul sudării manuale (avantaj viteză de sudare constantă, energie liniară constantă, topire uniformă a MB) - <i>importanță majoră</i>
c.	<b>Complexitatea schimbării</b>	Gradul de complexitate al schimbării este major, deoarece procedeul de sudare se schimbă din sudare SMAW în sudare FCAW mecanizată și sunt necesare echipamente diferite de sudare - <i>importanță majoră</i>
d.	<b>Monitorizare:</b> incapacitatea de a monitoriza schimbarea realizată de-a lungul întregului ciclu de viață al sistemului și de a lua măsuri adecvate;	Monitorizarea este și ea complexă, deoarece se schimbă procesul integral și se schimbă și personalul de execuție deci și modul de monitorizare se schimbă complet- <i>importanță majoră</i>
e.	<b>Reversibilitate:</b> incapacitatea de a reveni la situația sistemului anterioară schimbării;	Schimbarea este reversibilă, putându-se reveni la sudarea manuală cu electrozi - <i>importanță redusă</i>

Având în vedere argumentele prezentate în tabelul 5.1, considerăm că schimbarea tehnologiei de sudare, reprezintă o schimbare importantă și semnificativă de ordin tehnic, operațional și organizațional ce va avea un impact potențial asupra siguranței sistemului feroviar conform criteriilor art 4 pct 2 al Regulamentului (UE) nr. 402/2013.

### 5.2.2. Sistemul de Management al Riscurilor în cazul schimbării tehnologiei de recondiționare

Când se ajunge la concluzia că schimbarea este semnificativă și are efecte asupra siguranței feroviare trebuie identificate și analizate pericolele și riscurile generate și realizat un sistem de management al riscului pentru schimbarea respectivă care să gestioneze riscurile în mod adecvat. Conformitatea sistemului se evaluează în raport cu Regulamentul de punere în aplicare (UE) nr. 402/2013 al Comisiei. Obiectivul managementului riscurilor din cadrul activităților desfășurate este reducerea riscurilor până la un nivel acceptabil. Se ia în considerare că nu este permis ca schimbările survenite în activitate să inducă riscuri nedorite sau inacceptabile.

#### A. Definierea preliminară a sistemului de reparare a PGF

Definierea preliminară a sistemului în etapa premergătoare schimbării trebuie și ea făcută conform cu Regulamentul (UE) nr. 402/2013 ce presupune abordarea următoarelor aspecte: obiectivul sistemului, funcțiile sistemului, granițele sistemului, interfețele fizice ale sistemului, mediul sistemului. Schimbarea propusă prin teza de doctorat este reprezentată de identificarea unor procedee de sudare



mai economice, mai rapide și care să conducă la obținerea unor caracteristici superioare în straturile depuse în vederea refacerii formei geometrice inițiale.

### **B. Procesul de identificare a pericolelor și analiză riscurilor**

Cu ajutorul expertizelor membrilor echipei de analiză, utilizându-se tehnica de identificare și evaluare ”Brainstorming”, sunt identificate posibilele moduri de defectare și pericolele aferente, riscurile generate și măsurile pentru tratarea riscurilor. Au fost identificate pericolele ce pot fi prevăzute în mod rezonabil pentru întregul sistem tehnic în curs de evaluare, pentru funcțiile acestuia și pentru interfețele sale, fiind clasificate în funcție de legislație [10].

### **C. Selectarea principiului de acceptare a riscului**

În cadrul ședinței de lucru pentru încadrarea schimbării și aplicarea procesului de management al riscului, se stabilește de către echipa de lucru ca pentru evaluarea riscurilor din sistemul analizat, să se aplice **controlul și acceptabilitatea riscurilor prin coduri de practică**. Aplicarea acestui principiu de acceptare a riscului a identificat posibilele măsuri de siguranță, care fac ca riscurile aferente, să fie acceptabile și ținute sub control. Dintre aceste măsuri de siguranță, cele selectate pentru a controla riscurile devin cerințe de siguranță ce trebuie cel puțin îndeplinite.

### **D. Managementul pericolelor**

Începând cu faza de evaluare, precum și în faza de implementare și până la acceptarea schimbării semnificative luate în considerare, întreprinderea reparatoare, ține și actualizează o evidență a pericolelor aferente (Tabelul 5.6.).

Tabel 5.6. Registrul evidența pericolelor în activitatea de reparație prin recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frână la vagoanele de călători cu frâna pe disc [36]

Nr. crt	Descriere pericol	Originea pericolelor	Măsura de siguranță/ cerința de siguranță	Principiul de acceptare a riscului	Responsabil
1	Abateri majore fata de valorile parametrilor tehnologiei de sudare.	Pregătire profesională necorespunzătoare a personalului de execuție, neverificarea echipamentului de sudare	Verificare echipament, testări, calificare personal.	Utilizarea coduri de practică/Norme de siguranță.	Inginer de proces.
2	Blocaj în funcționare a aparatului de sudare.	Neverificarea echipamentului de sudare înaintea începerii operației de sudare.	Verificare echipament, testări, calificare personal.	Utilizare coduri de practică/Norme de siguranță.	Inginer mentenanță.
3	Material de adaos cu compoziție neadecvată.	Aprovizionare neconformă.	Verificări material de adaos.	Utilizarea coduri de practică / Norme de siguranță.	Șef serviciu aprovizionare.
4	Prelucrare mecanică inexactă.	Aparate de măsură necalibrate.	Verificări periodice aparate de măsurare.	Utilizarea coduri de practică	Inginer proiectant tehnologii.
5	Determinarea de testări insuficiente	Date insuficiente din exploatarea anterioară asupra defectărilor similare	Lărgire arie de căutare date,	Utilizarea coduri de practică	Proiectant.

## **Capitolul 6. Cercetări și contribuții privind îmbunătățirea recondiționării prin sudare a port-garniturilor de frecare de la frâna cu disc a vagoanelor de călători**

### **6.1. Cercetări privind aplicarea recondiționării prin sudare manuală a port-garniturilor de frecare de la frâna cu disc a vagoanelor de călători**

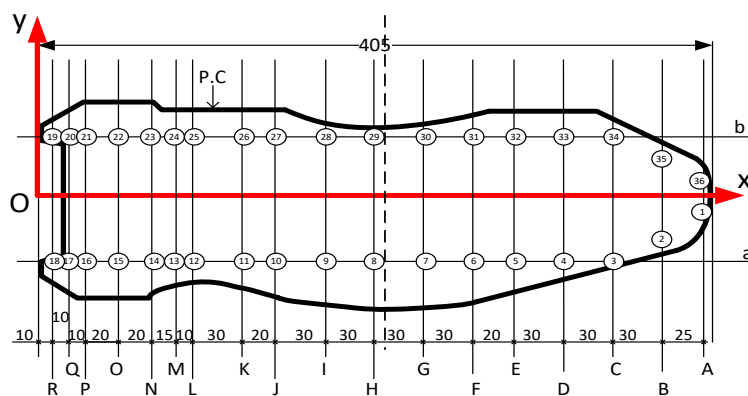
#### **6.1.2. Recondiționarea prin sudare manuală a port-garniturilor de frână – tehnologia actuală**

Pentru o analiză obiectivă a efectelor procedurii de recondiționare prin sudare a PGF aplicată în acest moment, s-a decis efectuarea a trei probe suplimentare: o piesă sudată liber (fără strângere în dispozitiv) (SL); o piesă sudată după prinderea într-un dispozitiv de strângere (DS), proiectat special pentru diminuarea deformațiilor; o piesă sudată în același dispozitiv ulterior frezată la cote nominale (SDF).

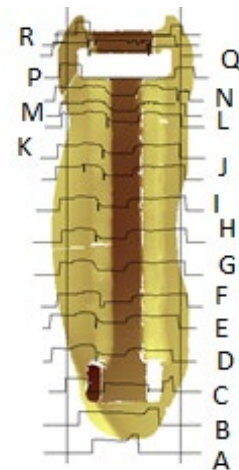
Scopul realizării acestor piese în stadii sau condiții diferite a fost pentru a determina influența diferitelor condiții asupra rezultatelor (determinarea prezenței deformațiilor și măsurarea lor funcție de prinderea sau nu în dispozitivul de strângere a piesei; influența re-prelucrării mecanice la cotele nominale asupra durtății suprafețelor) iar procedeul a fost cel descris în capitolul 2.

#### **6.1.3 Măsurarea deformațiilor din piesele recondiționate prin sudare liberă și în dispozitiv**

În urma aplicării oricărui procedeu de recondiționare prin sudare pot apărea deformații. Probele rezultate au fost analizate în vederea stabilirii valorilor deformațiilor, cu ajutorul soluției informatice ARTCAM. Localizarea punctelor de măsurare respectă indicațiile din Fig. 6.9.



a) Localizare puncte de măsurare deformații



b) Secțiuni măsurare - piesa SL

Fig. 6.9. Localizare puncte de măsurare deformații

P.C – contur probă; A...R – secțiuni (direcții) de măsurare;  $\textcircled{i}$  - puncte de măsurare (1...36), [34]

Câteva imagini obținute în timpul realizării scanărilor 3D ale pieselor, se regăsesc în Fig. 6.10.

Asocierea culorilor cu piesele s-a realizat pentru contrastul cu planul orizontal în vederea evidențierii vizuale a deformațiilor.

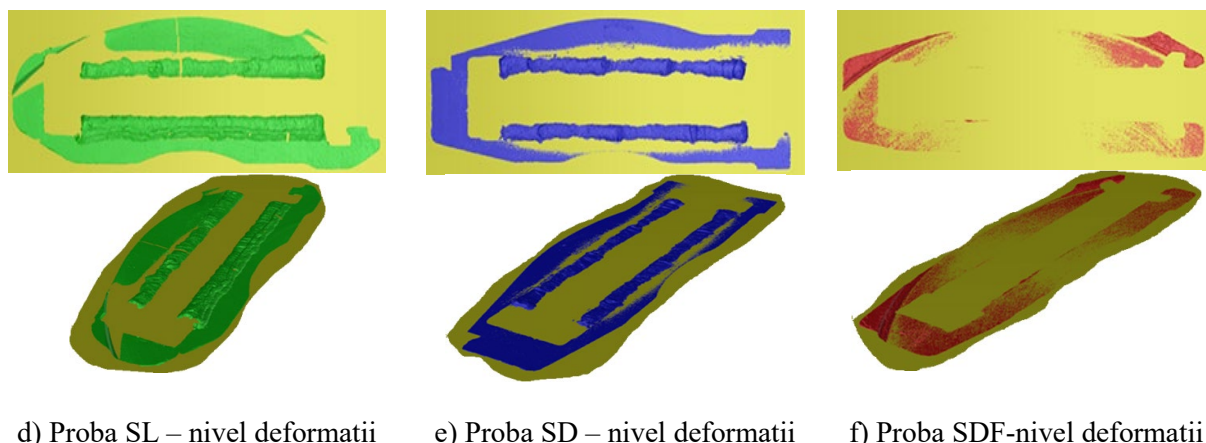


Fig. 6.10. Aspecte privind nivelul deformațiilor [34]

Deformațiile se măsoară pe verticală între planul orizontal de referință și planul orizontal scanat al piesei. În urma utilizării soluției informatice ARTCAM, necesară determinării valorilor deformațiilor, au fost obținute rezultatele prezentate în Tabelul 6.4. și în Fig. 6.11., 6.12., 6.13., 6.14.

Tabel 6.4. Valori deformații [34]

Punct măsurare*	x [mm]	Valoare [mm]***	
		Proba SD**	Proba SL**
1	400	-0.07	-0.9
[.....]			
8	205	-0,58	-3.02
9	175	-0.52	-2.83
[.....]			
27	145	-0.31	-2.28
28	175	-0.37	-2.41
29	205	-0.44	-2.63
30	235	-0.38	-2.48
[.....]			
36	400	-0.08	-0.3

\* conform figura 6.9; \*\* codificare conform punctul 6.1.2.;

\*\*\* valorile măsurate în planul (XOZ).

Culoarea galben marchează valorile maxime în puncte pe ambele părți ale probei SL și portocaliu pentru proba SD.

Din analiza Fig. 6.11., 6.12 se observă că deformațiile sunt mai mari ca valoare la mijlocul pieselor. Din analiza Fig. 6.13, 6.14 se observă mari diferențe în valoare absolută între deformațiile piesei SL față de SD.

Având în vedere valoarea maximă măsurată a deformațiilor față planul orizontal în cazul probei SL de 3,2 mm care a depășit valoarea maximă de 1,2 mm admisă prin SR EN 22768-1/2 [85, 86], cât și

valoarea maximă a deformațiilor rezultate în cazul probei SD, 0,58 mm, s-a concluzionat că utilizarea dispozitivului de strângere este imperios necesară în cazul recondiționării prin sudare.

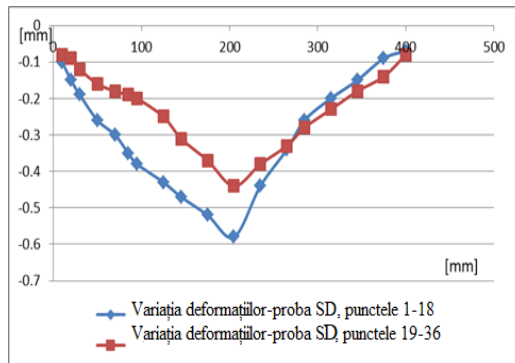


Fig. 6.11. Variația deformațiilor rezultate la sudare proba SD [34]

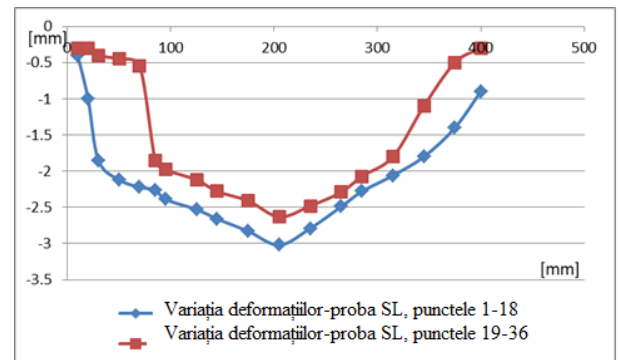


Fig. 6.12. Variația deformațiilor rezultate la sudare proba SL [34]

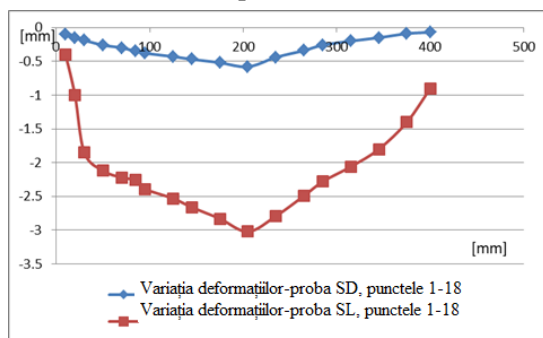


Fig. 6.13. Comparație valori deformații - probele SD și SL în punctele de măsurare 1 - 18 [34]

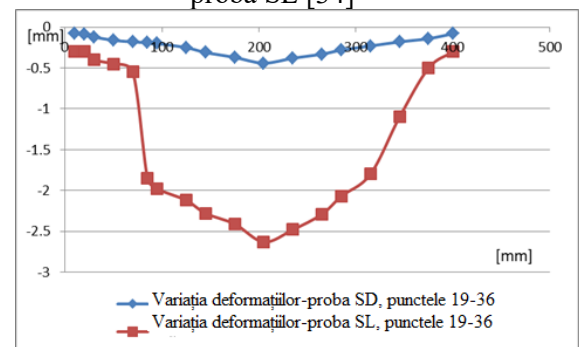


Fig. 6.14. Comparație valori deformații - probele SD și SL în punctele de măsurare 19-36 [34]

#### 6.1.4. Determinarea durității, structurii și diluției zonelor recondiționate prin sudare

Din fiecare din cele trei piese recondiționate SL, SD, SDF s-au prelevat probe (Fig. 6.15.) care au fost analizate în cadrul laboratorului LAMET, acreditat RENAR.

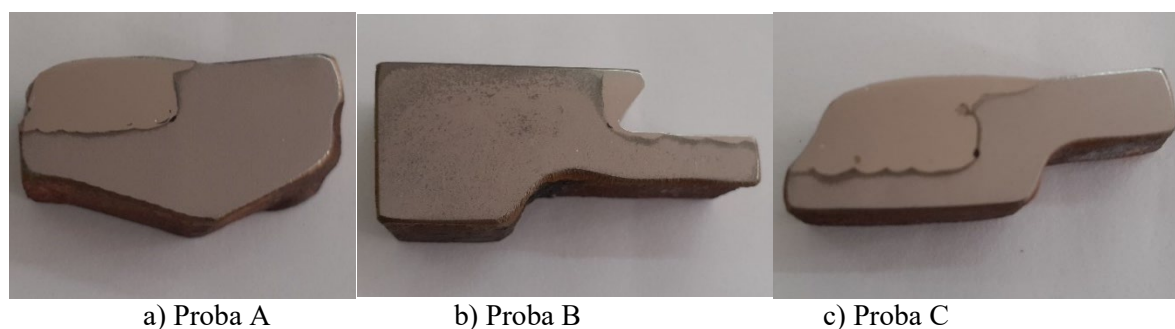


Fig. 6.15. Probe prelevate pentru analiză metalografică.

a) Proba A - proba SD-; b) Proba B - probă SDF; c) Proba C - probă SL.

Examinarea s-a efectuat pe zonele caracteristice ale probelor, pe materialul de bază (BM) pe zona de influență termică (HAZ), pe linia de fuziune (FL) și pe cordonul de sudare (CS). Imaginile rezultate în urma analizei microscopice sunt indicate în Fig. 6.16.

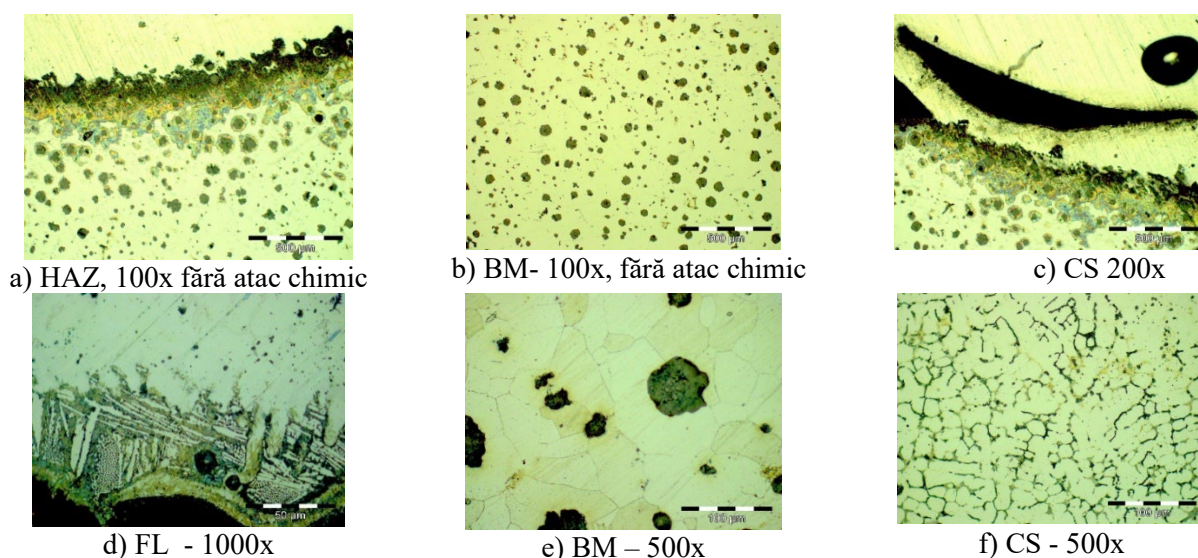


Fig. 6.16. Proba A – Fontă cu grafit nodular feritică

Din analiza imaginilor prezentate în Fig. 6.16. se pot desprinde următoarele informații: există o delimitare clară dintre MB și CS, Fig. 6.16 a; materialul de baza are o structură feritică cu grafit nodular, Fig. 6.16., b și e; în CS au fost puse în evidență imperfecțiuni de tipul desprindere și por, Fig. 6.16., c; pe linia de fuziune a avut loc o oxidare a grafitului și au apărut compuși de tipul ledeburită și cementită aciculară, Fig. 6.16., d.

După examinarea microscopică, probele au fost supuse încercării de determinare a durității, valorile obținute fiind indicate în Tabelul 6.6. Conform standardelor, determinarea se face prin măsurarea în 5 puncte distincte în fiecare zonă a îmbinării, material de bază (BM), zonă influențată termic (HAZ) și cordon de sudură (CS).

Tabel 6.6. Valorile durițăților determinate la analizarea probelor A,B,C, HV<sub>0,2-1,961N</sub>, t=15sec

Proba \ Zona	A			B			C		
	BM	HAZ	CS	BM	HAZ	CS	BM	HAZ	CS
Punct 1	167	220	183	182	256	194	153	286	153
Punct 2	173	228	174	201	422	195	168	250	159
Punct 3	147	282	180	230	418	203	171	226	167
Punct 4	184	292	176	220	328	208	131	373	171
Punct 5	170	210	170	182	358	225	163	356	154
Valoare medie	168,2	246,4	176,6	203	356,4	205	157,2	298,2	160,8
Valoare maximă	184	292	183	230	422	225	171	373	171
Valoare minimă	147	210	170	182	256	194	131	226	153

Din analiza valorilor durițății prezentate în Tabelul 6.6., comparând valorile obținute în cazul probelor A, B, C se poate afirma că prelucrarea mecanică ulterioară a dus la creșterea valorii durițății în HAZ și CS, fapt pentru care s-a propus ca prelucrarea sa fie efectuată cu răcire.

### 6.1.5. Determinarea tensiunilor din probele recondiționate

Procedeeul curent de recondiționare prin sudare SMAW se realizează cu strângerea piesei în DS. În sub-capitolul 6.1.3., concluzia rezultată a fost, că pentru proba recondiționată SL procedeeul de recondiționare a condus la apariția unor deformații peste cele admise prin standardele în vigoare. Un aspect important al cercetării a fost reprezentat de punerea în evidență a deformațiilor specifice în anumite puncte, funcție de valorile acestea putându-se aprecia și valorile tensiunilor remanente din zona respectivă în baza legii lui Hook:  $\sigma = E \times \varepsilon$  (6.1)

unde: E -modulul lui Young;  $E_{fontă} = 169 \text{ kN/mm}^2$  - alungirea relativă [ $\mu\text{m/m}$ ]

Metoda de măsurare a deformațiilor remanente utilizată este metoda rozetei tensometrice găurite (metoda Mathar). Experimentele au fost realizate în cadrul Laboratorului de Tensometrie din departamentul de Rezistența materialelor, Facultatea de Inginerie Industrială și Robotica din U.P.B. În vederea stabilirii mărimii deplasărilor ce pot apărea în probele recondiționate au fost amplasate câte 3 mărci tensometrice (codificate cu a, b, c și A, B, C), poziționate pe un cerc în punctele a, b, c și A, B, C la  $120^\circ$ , conform Fig. 6.21. Poziționarea mărcilor tensometrice, astfel încât zona în care se va realiza gaura să fie la jumătatea cordonului, permite măsurarea deformațiilor în punctele codificate cu ZG, conform Fig. 6.21.

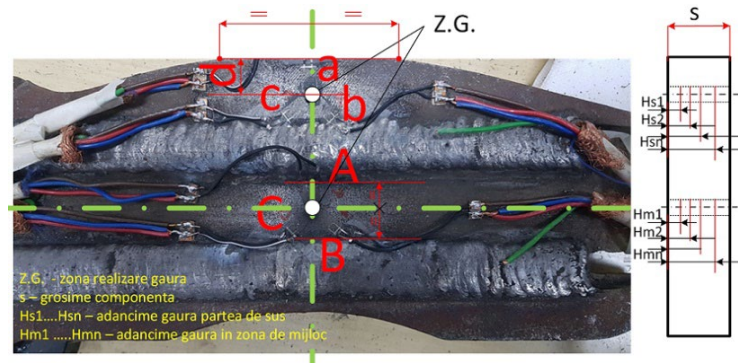


Fig. 6.21. Proba cu mărci tensometrice- poziționare mărci, figurare adâncimi de găurire

Mărcile tensometrice a, b, c, A, B și C au fost poziționate în conformitate cu figura 6.21, rezultând ansamblul piesă – marcă prezentat în figura 6.22.

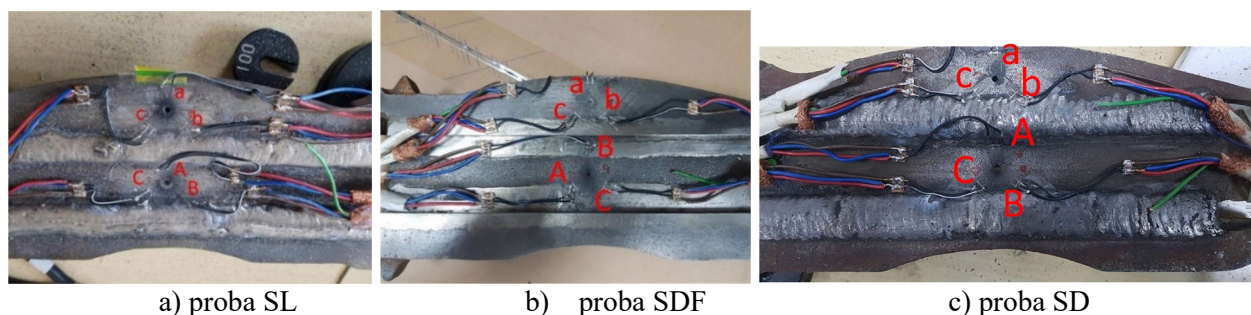


Fig. 6.22. Probele cu mărci tensometrice poziționate

Pentru fiecare probă s-au înregistrat cca. 20.000 de rezultate, timpul parcurs între două înregistrări fiind de 0,02 s. Valorile deformațiilor specifice maxime înregistrate de către mărcile tensometrice poziționate în punctele a, b, și c, pentru toate probele efectuate sunt indicate în Tabelul 6.7., respectiv Tabelul 6.8. pentru mărcile tensometrice poziționate în punctele A, B și C.

Tabel 6.7. Valorile deformațiilor specifice maxime înregistrate de mărcile corespunzătoare poziționate în a,b,c la diverse adâncimi de găurire pentru cele 3 probe SL, SDF, SD

Adâncimea de găurire H [mm]	Deformația specifică măsurată de către marca tensometrică[ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]		
	a	b	c
Proba SL			
1,84	-45,12	-104,16	13,44
9,85	-169,92	-349,44	-91,2
Proba SDF			
2,11	190,08	340,32	394,56
3,04	141,12	316,8	339,36
Proba SD			
2,65	22,08	157,92	547,68
9,56	-43,2	120,48	254,4

Analizând rezultatelor indicate în tabelele de mai sus se poate concluziona că majoritatea deformațiilor specifice apărute se datorează unor tensiuni de compresiune, valorile maxime fiind obținute la adâncimea maximă de găurire. Prin compararea rezultatelor înregistrate în cadrul probelor SD și SDF, se poate afirma că procesul de refacere al canalului de rândunică prin prelucrarea mecanică a stratului depus, a condus la o relaxare a deformațiilor specifice remanente.

Tabel 6.8. Valorile deformațiilor specifice maxime înregistrate de mărcile poziționate în A,B,C la diverse adâncimi de găurire pentru cele 3 probe SL, SDF, SD

Adâncimea de găurire H [mm]	Deformația specifică măsurată de către marca tensometrică[ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]		
	A	B	C
Proba SL			
3,11	-72,96	-84,96	-150,24
Perforare	-136,32	-261,12	-551,04
Proba SDF			
4,2	300	-185,76	287,52
Perforare	297,6	-228,96	164,16
Proba SD			
2,3	312,48	-59,04	-94,08
Perforare	-196,8	-185,28	-155,52

Pentru a se determina deformațiile specifice de relaxare, s-au efectuat găuriri în trepte ale probelor pe diferite adâncimi. Valorile înregistrate de toate mărcile tensometrice poziționate în punctele a, b, c, A, B, și C sunt prezentate în Fig. 6.24. - 6.29.

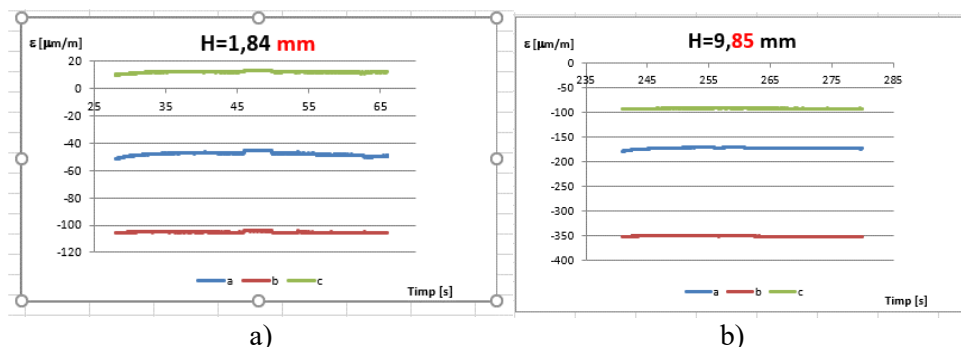


Fig.6.24. Graficele variației deformației specifice de relaxare după găurirea la diverse adâncimi de găurire (proba SL) (măsurate pe mărcile poziționate în a,b,c)

Din analiza graficelor prezentate în Fig. 6.24. se poate observa că indiferent de adâncimea de găurire se obține un tipar reprezentat de faptul că valorile minime (în valoare absolută) au fost înregistrate de marca tensometrică poziționată în punctul c, valorile maxime de către marca poziționată în punctul b.

De asemenea, se constată diferențe notabile între mărimile înregistrate cu cele 3 mărci tensometrice. La marca poziționată în punctul c se observă că deformațiile au semn pozitiv la  $H = 1,84$  mm fiind  $+13,44$  iar la  $H = 3,78$  mm semnul deformației este negativ ajungând apoi până la un maxim, în valoare absolută, de  $-91,2$ , ceea ce denotă că tensiunile inițial sunt de alungire apoi fiind de compresie.

În Fig. 6.30., 6.31., sunt ilustrate variațiile deformațiilor specifice pentru fiecare marcă pentru cele trei probe pentru comparație.

Observând graficele de variație a deformațiilor specifice pe fiecare marcă pentru toate cele trei piese se constată că variațiile cele mai mari ale deformațiilor sunt la piesa strânsă în dispozitiv deci în această piesă sunt înregistrate cele mai mari tensiuni.

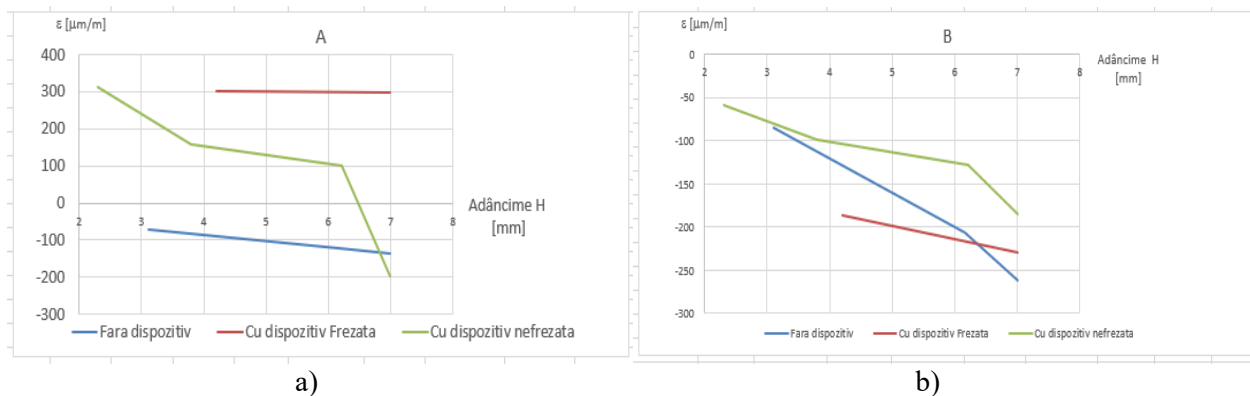


Fig. 6.30. Graficul variației deformațiilor specifice în punctele A și C funcție de adâncime la cele trei probe

În Tabelul 6.9. se regăesc calculate tensiunile remanente pentru valorile cele mai mari ale deformațiilor specifice pentru cele trei probe.

Cea mai mare valoare pentru deformația specifică este de  $567,36 \mu\text{m/m}$  și a fost măsurată de marca poziționată în punctul c pe proba recondiționată prin sudare în dispozitiv ceea ce demonstrează că în această probă se înregistrează tensiunile remanente cele mai mari. Valoarea tensiunii maxime este de  $\sigma = 95,88 \text{ N/mm}^2$  care este mai mică decât limita de curgere  $R_p 0.2250 \text{ N/mm}^2$  a fontei din care este realizată PFG.

Tabel 6.9. Tensiuni remanente

Adâncimea de găurire $H$ [mm]	Tensiuni remanente calculate pentru valorile maxime ale deformațiilor specifice [ $\text{N/mm}^2$ ]		
	a	b	c
Proba SL			
9.85	-28.72	-59.06	-15.41
Proba SDF			
2.11	32.12	57.51	66.68
Proba SD			
5.02	-1.95	26.28	95.88



## 6.2. Cercetări privind îmbunătățirea calității recondiționării prin utilizarea procedeelor de sudare FCAW semi-mecanizată și mecanizată

Calitatea recondiționării prin sudare și costul acesteia sunt în mare măsură influențate de procedeul de sudare aplicat, întrucât aceasta influențează direct timpul de sudare, consumul de material de adaos și de energie, productivitatea de topire și calificarea personalului necesar, etc. Se constată o tendință generală de înlocuire a procedeelor de recondiționare prin sudare manuală, cu procedeele de sudare mecanizate sau automatizate [28].

### 6.2.1. Descrierea planului experimental, materiale, echipamente și tehnici utilizate

În vederea proiectării și aplicării unui procedeu de recondiționare prin sudare adecvat care să conducă la obținerea unui CS deșus cu o calitate superioară celor depuse prin procedeul SMAW, s-au efectuat seturi de experimente cu trei procedee de sudare diferite SMAW, FCAW și FCAWm, s-au prelevat și prelucrat probe care ulterior au fost supuse examinărilor specifice.

#### A. Materialul de bază

În conformitate cu specificația tehnică a proiectantului, materialul de bază utilizat pentru realizarea port-garniturii de frecare este o fontă cu grafit nodular de tip: EN-GJS-400-15C conform EN 1563.

#### B. Materialul de adaos

. Materialele de adaos utilizate în cadrul experimentelor au fost: SMAW – ENiFeC1 A (cf AWS 5.15, SR EN ISO 1071/2004) [84]; FCAW și FCAW m – NiFe 60/40 (cf. DIN EN 14700, NiFeC1) [82].

#### C. Echipamente și dispozitive

Echipamentele și dispozitivele utilizate în cadrul experimentelor sunt indicate în Tabelul 6.15.

Tabel 6.15. Echipamente și dispozitive [33]

No.	Echipamente / dispozitive / observații	SMAW	FCAW	FCAW m
1	Sursă sudare	Welding Inverter Caddy Professional 250	Aristo MIG U5000iw	
	Dispozitiv deplasare	-	-	Tractor sudare Miggytrac

#### D. Tehnici utilizate

În cazul SMAW, zona necesară obținerii sistemului de fixare de tip coadă de rândunică a fost obținută prin depunerea a 14 treceri pentru obținerea unei lățimi de 13 mm și unei înălțimi de 9 mm. La sudarea FCAW (Fig. 6.38.) cât și la FCAWm (Fig. 6.40.), au fost suficiente un nr de 5 respectiv 4 treceri pentru obținerea cotelor nominale după prelucrarea mecanică cu freza cilindro frontală.



Fig. 6.38. Sudare FCAW semi-mecanizată  
a) Depunerea manuală a CS prin procedeul FCAW , b) CS deșus prin FCAW



Fig. 6.40. Stand experimental – recondiționarea prin procedeul FCAWm  
a) poziționare probă în dispozitiv la 45°, b) poziționare pistol de sudare  
S.A – sistem asamblare dispozitiv, M.L. – masa de lucru, PGF – port-garnitura frecare, D.D – dispozitiv  
desplasare pistol de sudare (pentru mecanizare), D.A.U. – dispozitive de asigurare a unghiului de inclinare

### E. Parametrii tehnologiei de sudare

În cadrul experimentelor s-au înregistrat parametrii indicați în Tabelul 6.16.

Tabel 6.16. Parametrii utilizați în procedeele de sudare experimentale [33]

Proces	Depunere	$\varnothing$ [mm]	k [-]	U [V]	I [A]	$v_s$ [mm/min]	El [Kj/mm]
SMAW 12 treceri	Trecere 1	2.5	0.8	19.00	100	140	0.651
	Trecere 2-n	3.25	0.8	21.00	120	220	0.550
Energie liniară medie SMAW							0.615
FCAW * 4treceri	Trecere 1	1.6	0.8	21.7	204	350	0.607
	Trecere 2-n	1.6	0.8	21.5	206	345	0.616
Energie liniară medie FCAW							0.613
FCAWm ** 3 treceri	Trecere 1	1.6	0.8	26	150	305	0.614
	Trecere 2-n	1.6	0.8	26	152	305	0.622
Energie liniară medie FCAWm							0.619

\* viteza de sudare medie  $v_s$ ,  $I_s$  medie,  $U_a$  medie; K – eficiența termică.

\*\* viteza de sudare dată de cărucior;

Din analiza valorilor parametrilor prezentați în Tabelul 6.16. se poate observa că și în situația în care parametrii principali ai tehnologiei de recondiționare prin sudare, cu indicii  $I_s/U_a/v_s$ , au fost diferiți, valorile parametrului  $E_l$  sunt apropiate, existând o diferență maximă de 0.006 [KJ/mm].

### 6.2.2. Rezultate experimentale

#### A. Etapele cercetării

##### A1) Examinarea nedistructivă a piesei

În această etapă se stabilește dacă gradul de uzură mai permite recondiționarea (Fig. 6.44.).



Piesă cu uzură ce permite recondiționarea



Piesă cu uzură ce nu permite recondiționarea

Fig. 6.44. Examinare vizuală și măsurarea uzurii pieselor de recondiționat [33]

**B3) Analiza macroscopică**

Imaginile macroscopice ale secțiunilor transversale și imperfecțiunile identificate în fiecare probă sunt prezentate în Fig. 6.47. și Fig. 6.49.

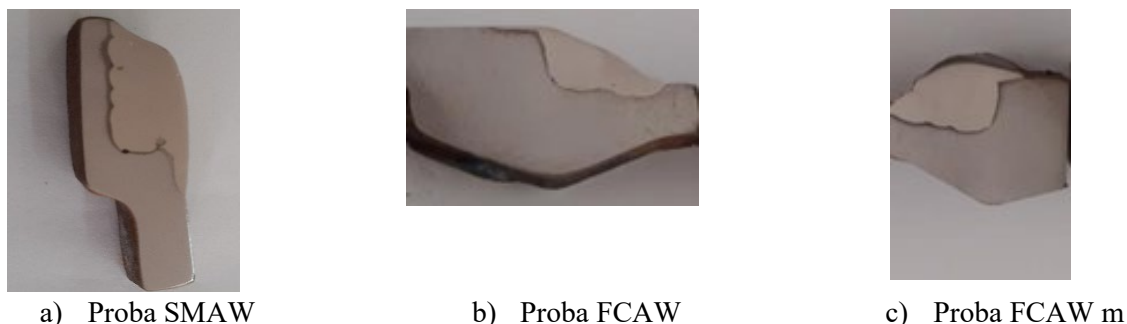


Fig. 6.47 Probe macroscopice [33]

**B4) Încercarea de determinare a durității**

S-au realizat analize de determinare a durității, HV 0.2 pe probele prelevate, Fig. 6.47. Conform standardelor în vigoare cu privire la stabilirea valorilor durității, determinarea impune măsurarea în 5 puncte distincte în fiecare zonă a îmbinării, material de bază (BM), zona influențată termic (HAZ) și cordon de sudare (CS) - Fig. 6.48.

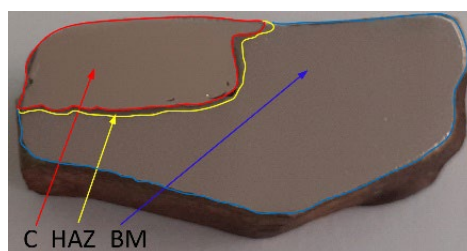


Fig. 6.48 Identificarea zonelor C, HAZ și BM [33]

Rezultatele obținute sunt indicate în Tabelul 6.18. pentru proba recondiționată prin SMAW, în Tabelul 6.19. pentru proba recondiționată prin FCAW și FCAWm.

Tabel 6.18. Durități probe SMAW

Proba	A*		B*		C*	
	Valoare în		Valoare în		Valoare în	
Zona	HAZ	CS	HAZ	CS	HAZ	CS
Punctul 1	220	183	256	194	286	153
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]	[...]
Punctul 5	210	170	358	225	356	154
Valoare medie	246,4	176,6	356,4	205	298,2	160,8

Din analiza valorilor durităților prezentate în Tabelul 6.18. și prin comparația valorilor obținute în cazul probelor A și B, Fig. 6.49., se poate afirma că prelucrarea mecanică ulterioară necesară obținerii sistemului de prindere de tip „coadă de rândunică” a condus la creșterea valorii durității în HAZ și CS, fapt pentru care s-a propus ca prelucrarea să se efectueze cu răcire.

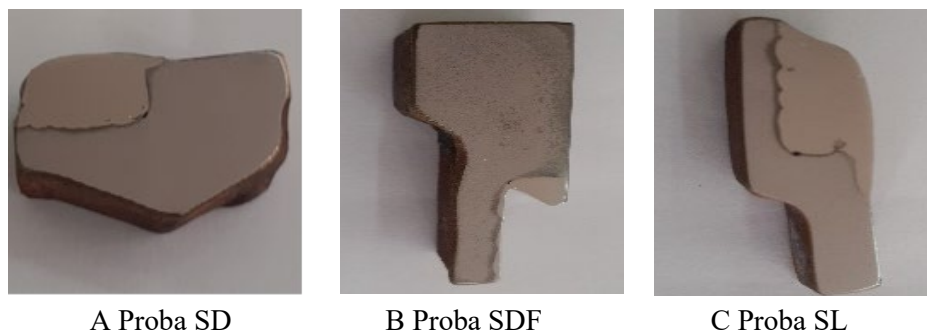


Fig. 6.49. Identificarea probelor recondiționate SMAW [33]

Tabel 6.19. Valori durității, recondiționare FCAW și FCAWm HV0.2

Locație	Proba	Proba FCAW		Proba FCAWm	
		HAZ*	C*	HAZ*	C*
Punctul 1		290	181	173	228
Punctul 2		336	190	179	229
Punctul 3		232	183	192	178
Punctul 4		293	192	195	198
Punctul 5		242	215	187	213
Valoarea medie		278,6	192,2	185,2	209,2

\* zone identificate în Fig. 6.48.

Prin comparația valorilor rezultate indicate în Tabelul 6.18 și 6.19 se poate observa că valoarea cea mai ridicată a durității în C a fost 229, obținută la recondiționarea prin procedeul FCAWm ceea ce evidențiază rezistența mai mare la uzare a probei recondiționată cu procedura FCAWm.

## **Capitolul 7. Cercetări experimentale privind comportarea la uzare a port-garniturilor de frecare recondiționate, calculul costurilor și elemente de asigurarea calității**

În vederea luării deciziei cu privire la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare aplicată PGF, pentru completarea rezultatelor deja obținute, au fost efectuate cercetări experimentale privind comportarea la uzare a PGF recondiționate; calculul costurilor fiecărui procedeu; iar pentru asigurarea calității, elaborarea unei proceduri instrucțiune de lucru, privind recondiționarea prin sudare prin procedeul rezultat ca fiind optim dintre cele analizate.

### **7.1. Determinări comparative la uzare pentru port-garniturile de frecare recondiționate**

Uzarea PGF este rezultatul manifestării forțelor de frecare ce apar în momentul frânării între suprafețele PGF și GF sub apăsarea dată de presiunea din instalația de frână când se aplică GF pe suprafața discului de frână în vederea obținerii frânării vagoanelor. Pentru determinarea rezistenței la uzare a pieselor recondiționate prin cele trei procedee, s-a utilizat testul de microabraziune.

#### **7.1.1. Testarea la microabraziune**

##### **A. Metode de lucru. Materiale**

Determinările privind microabraziunea au fost efectuate pe standul CSM Calowear, Fig. 7.1., în cadrul laboratorului Laboratorului de Tribologie al Facultății de Inginerie Mecanică și Mecatronică.



a)

b)

Fig. 7.1. Stand CSM Calowear

a) Poziționare probă pe stand, b) poziționare bilă pe probă și axul de antrenare

### **B. Relații folosite la determinările experimentale**

$$k = \frac{V}{F_N L_f} \quad (7.1)$$

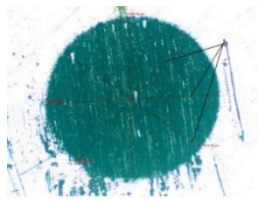


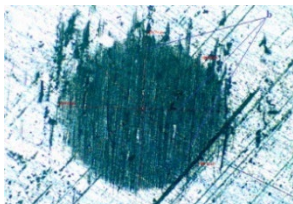
$$V = \frac{\pi b^4}{32d} \quad (7.2)$$

unde:  $k$  = coeficient de uzare  $\left[\frac{\text{mm}^3}{\text{Nm}}\right]$ ;  $V$  = volum de uzare  $[\text{mm}^3]$ ;  $b$  = diametrul lăsat de bilă, diametrul petei de uzură  $[\mu\text{m}]$ ;  $d$  = diametrul bilei  $[\text{mm}]$ ;

### **C. Rezultatele obținute**

În vederea determinării gradului de uzură s-au efectuat câte două teste pe probe prelevate pe zone similare din PGF-uri recondiționate prin cele 3 procedee de sudare (SMAW, FCAW, FCAWm). În Tabelul 7.2. se observă cele două amprente ale petelor de uzură obținute în urma încercărilor efectuate asupra fiecărei probe.

Tabel 7.2. Amprețele de uzură rezultate în urma testelor la microabraziune pe probe

Proba	Aspect Amprentă	
	Test 1	Test 2
A8		
A5		

În baza valorilor diametrelor amprentelor de uzură, prin introducerea în relațiile 7.1., 7.2. au rezultat valorile indicate în Tabelul 7.3.

Tabel. 7.3. Rezultate probe A8, A5, A4, A0

Nr. Crt.	Timp [s]	Lungimea de frecare [mm]	Forța de încărcare FN [N]	Coeficientul de uzare k [mm <sup>3</sup> /Nm]	Volumul de material uzat [mm <sup>3</sup> ]	Intensitatea de uzare	Adâncimea stratului [mm]
Proba A8							
<b>Media</b>	<b>900</b>	<b>214956</b>	<b>0,499</b>	<b>0,0143591</b>	<b>0,01534</b>	<b>0,00911</b>	<b>0,0195814</b>
Proba A5							
Media	900	214956	0,381	0,0331328	0,01095	0,00771	0,0165678
Proba A4							
Media	900	214956	0,4185	0,0175786	0,01685	0,00529	0,0205517
Proba A0							
Media	900	214956	0,5215	0,0150335	0,01685	0,00529	0,0205517

În urma analizei mediilor datelor rezultate se observă că la coeficientul de uzare valoarea cea mai mică este în cazul probei A8 (0,0143591 mm<sup>3</sup>/Nm), probă recondiționată prin procedeul de sudare FCAWm, ceea ce dovedește rezistența la uzare cea mai mare a piesei recondiționată prin acest procedeu și volumul de material uzat este cel mai mic în valoare (0,0153 mm<sup>3</sup>) tot în cazul probei A8 ceea ce dovedește că proba obținută prin procedeul de sudare FCAWm are o rezistență mai mare la uzare.

## 7.2 Calculul costurilor aplicării procedeeleor recondiționare prin sudare ale port-garniturilor de frecare

### 7.2.1. Generalități

Un alt criteriu important, în alegerea/stabilirea unui procedeu tehnologic optim, pe lângă calitate, este reprezentat de costul revendicat de aplicarea în producție. Până în anul 2005, în momentul depistării unei PGF uzate, decizia de reparare era prin înlocuire cu piese de schimb noi la un cost de 135 Euro/buc. Recondiționarea prin metoda (SMAW) se aplică din anul 2005 (fiind elaborată și implementată după omologare de Atelierele CFR Grivița) reparându-se în medie 190 de PGF pe an. Procedecele îmbunătățite propuse pentru recondiționare ce au făcut obiectul cercetărilor sunt FCAW și FCAWm. Concluziile capitolelor 5 și 6 evidențiază că aceste procedee au rezultate superioare SMAW în ceea ce privește calitatea recondiționării PGF. Analiza costurilor va completa concluziile în vederea validării aplicării procedeeleor îmbunătățite în scopul recondiționării PGF.

### 7.2.2. Calculul consumului de materiale, manoperă și a costurilor aferente celor trei procedee de sudare

Din datele furnizate de Specificația tehnică a atelierelor de reparații, dimensiunile recomandate cordonului după necesare obținerii dimensiunilor nominale și profilului de coadă de rândunică după prelucrarea mecanică sunt de: l=13 mm lățime și h= 9 mm înălțime (Fig. 7.2.). Dimensiunile PGF definitorii pentru calcule sunt: lungime totală 405 mm (Fig. 7.3.); lungimea activă de prindere cu profil de coadă de rândunică este de 272 mm; lungimea cordonului de sudură este egală cu a profilului coadă de rândunică 272 mm.

Volumul total al cordonului de sudare,  $V_{cs}$ , după pe un flanc pentru a asigura dimensiunile necesare pentru re-prelucrarea la forma profilului de coadă de rândunică și dimensiunile și unghiurile nominale, se calculează cu relația 7.3 prin înlocuire rezultă  $V_{cs} = 272\text{mm} \cdot 13\text{mm} \cdot 9\text{mm} = 31,82 \text{ cm}^3$ :

$$V_{CS} = L \cdot l \cdot h \text{ [mm}^3\text{]} \quad (7.3.)$$

Masa cordonului depus,  $M_{CS}$ , se calculează cu relația 7.4, prin înlocuire rezultă  $M_{CS} = 260,6$  gr:

$$M_{CS} = f \cdot V_{cs} \text{ [gr]} \quad (7.4)$$

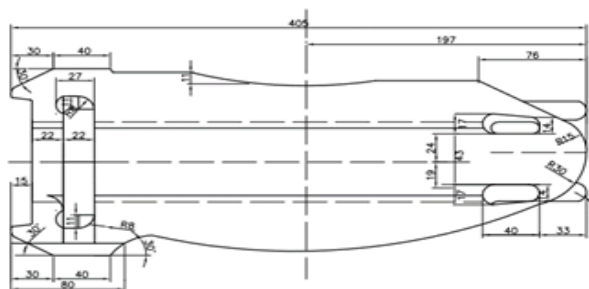
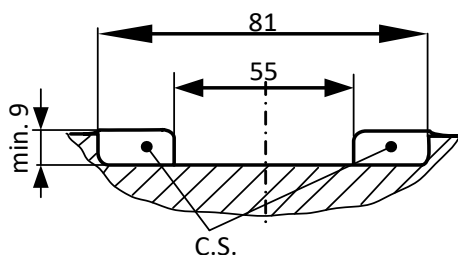


Fig. 7.2. Dimensiuni secțiune depunere (CS)

Fig. 7.3. Dimensiuni PGF

S-a realizat calculul masei electrozilor și sârmei utilizate ca FM și determinarea numărului de electrozi și lungimea sârmei necesare pentru realizarea depunerii cordonului de recondiționare a cărui masă s-a determinat cu relația (7.4). Ținând cont de viteza de sudare s-a calculat timpul alocat unei treceri cât și timpul total necesar realizării depunerii cordonului de recondiționare aferent unui flanc al probei SMAW. Ținând cont de viteza de avans a sârmei afișată pe ecranul echipamentului de sudare de 4,8 m/min s-a calculat timpul alocat unei treceri cât și timpul total necesar realizării depunerii cordonului de recondiționare aferent unui flanc pentru procedeele FCAW și FCAWm.

Din analiza rezultatelor indicate în Tabelul 7.12. se poate concluziona că procedeul de recondiționare prin sudare a PGF, care conduce la costurile de producție cele mai scăzute, este FCAWm fiind cu 54% mai redus decât SMAW.

Tabel. 7.12. Tipurile și valorile consumurilor de materiale și manoperă pe cele 3 procedee

Nr. Crt	Procedeu de recondiționare	SMAW			FCAW			FCAWm		
		Consum	U.M.	Cost total [lei]	Consum	U.M.	Cost [lei]	Consum	U.M.	Cost [lei]
1.	Materiale de adaos	24	[buc]	210	0,52	[kg]	46	0,52	[kg]	46
2.	Gaze de protecție	-	[m <sup>3</sup> ]	-	99	[l]	5,74	99	[l]	5,74
3.	Examinarea PT	0,021	[m <sup>2</sup> ]	2,57	0,021	[m <sup>3</sup> ]	2,57	0,021	[m <sup>3</sup> ]	2,57
4.	Energie electrică pentru arc electric	1,89	[KWh]	3,08	0,62	[KWh]	1,01	0,54	[KWh]	0,88
5.	Energie electrică pentru calcinare	1,2	[KWh]	1,95	0	[KWh]	0	0	[KWh]	0
6.	Energie electrică pentru prelucrări mecanice [106]	6,64	[KWh]	11	6,64	[KWh]	11	6,64	[KWh]	11
7.	Manoperă personal sudor	2,48	[h]	66,52	0,88	[h]	23,48	0,84	[h]	22,59
8.	Manoperă prelucrător prin așchiere	1,66	[h]	33	1,66	[h]	33	1,66	[h]	33
9.	Manoperă operator control calitate	2,33	[h]	50	2,33	[h]	50	2,33	[h]	50
<b>TOTAL</b>				<b>378,12</b>			<b>172,8</b>			<b>171,78</b>

### 7.3. Elaborarea procedurii instrucțiune de lucru privind recondiționarea prin sudare mecanizată (FCAWm)

Ținând cont de importanța port-garniturii de frecare și de efectele pe care o eventuală procedură de recondiționare prin sudare le va avea asupra funcționării, în cazul produselor care țin de siguranța feroviară, așa cum este și piesa analizată, dezvoltarea tehnologiei de recondiționare trebuie făcută urmând un proces în care să fie indicate toate elementele. În cazul concret al recondiționării PGF etapele generale ale procesului sunt: pregătirea pentru recondiționare; recondiționarea propriu-zisă; operațiile post-recondiționare. Odată determinat în detaliu procesul de recondiționare al PGF prin procedeul FCAWm acesta se va formaliza printr-o procedură ce se regăsește în Anexa 1.

## **Capitolul 8. Concluzii finale și contribuții principale la îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători**

Concluziile relevante privind activitatea de cercetare și dezvoltare de doctorat pentru atingerea obiectivului său principal, îmbunătățirea tehnologiei de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători, în raport și cu elementele de referință metodologice (v. § 4.3) sunt:

- identificarea în probele recondiționate a unor imperfecțiuni datorate utilizării procedurii SMAW, demonstrează necesitatea cercetărilor experimentale privind elaborarea unei noi tehnologii de recondiționare prin sudare care să elimine în primul rând imperfecțiunile dar care să îmbunătățească și timpii de producție, calitatea și costurile.
- pe baza identificării și analizării pericolelor și riscurilor generate, s-a realizat un sistem de management al riscului pentru schimbarea tehnologiei care să gestioneze riscurile în mod adecvat; pentru reducerea riscurilor până la un nivel acceptabil s-a utilizat, ca și principiu de acceptare al riscului, principiul codurilor de practică; măsurile de siguranță aplicate fac ca riscurile aferente să fie acceptabile și ținute sub control; măsurile de siguranță selectate pentru a controla riscurile devin cerințe de siguranță și s-a concluzionat că riscurile de tip tehnic și operațional sunt ținute sub control prin aplicarea codurilor de practică specificate și prin sistemul de management al riscului propus; aceasta permite realizarea schimbării și trecerea la noua tehnologie de recondiționare (cap 5).

În urma luării în evidență a datelor statistice din analizele și evaluările de la momentul implementării recondiționării prin procedeul SMAW, ținând cont de faptul că tehnologia de recondiționare a fost elaborată în anul 2005, am considerat necesară re-evaluarea calității recondiționării obținute prin tehnologia actuală, rezultatele fiind următoarele (v. § 6.1):

- la examinarea cu lichide penetrante PT, au fost evidențiate neconformitățile de tip: pori, fisuri etc.;
- în urma analizei deformațiilor, prin metoda 3D, urmată de procesarea datelor prin intermediul softului ARTCAM, s-a constatat că, în cazul probei sudate în dispozitiv, nivelul deformațiilor a fost minim (s-a constatat însă că nivelul deformațiilor variază de-a lungul flancurilor depunerii probabil datorită variației forței de strângere a piesei în dispozitiv, recomandându-se acordarea unei atenții sporite activității de rigidizare a piesei în dispozitiv);
- în cazul probei sudate liber fără prindere în dispozitiv, deformarea maximă a fost înregistrată în planul secțiunii H (Fig.6.10.) și a fost de 3,02 mm (mai mare decât maximul admis de SR EN ISO 22081:2021 de 1,2 mm);
- analiza macroscopică a relevat că aportul materialului de bază la formarea stratului a fost diferit în diferitele zone ale piesei, situație explicată prin faptul că viteza de sudare nu a fost constantă;



Ca urmare a implementării celor două tehnologii proiectate FCAW și FCAWm au rezultat următoarele concluzii (v. § 6.2):

- implicarea sudorului, în cazul procedurii FCAW a condus la apariția unor imperfecțiuni în cordoanele rezultate, problema rezolvată prin mecanizarea procesului de recondiționare;
- utilizarea unui dispozitiv de strângere și fixare, care să permită reducerea nivelului de deformare în timpul sudării, este necesară indiferent de tehnologia de recondiționare utilizată;
- prin utilizarea procedurii FCAWm s-a obținut un aspect adecvat al suprafeței suprafeței cordonului de recondiționare și a adâncimii de pătrundere, ceea ce conduce la ideea că acest procedeu prezintă comparativ cu procedeul SMAW o serie de avantaje;
- pentru toate probele analizate în lucrare valoarea medie a durității din zona fost mai mare decât cea calculată pentru zona CS.;
- în zonele de material depus cu procedeele FCAW și FCAWm analiza compoziției chimice a demonstrat creșterea conținutului de Mn, elementul chimic care contribuie la creșterea durității și a rezistenței la uzură a PGF ;
- cu toate că valoarea energiei liniare utilizată la procedeele FCAW și FCAWm, a fost aproximativ egală, la analiza valorilor durității, la probele obținute prin cele două procedee, s-au constatat diferențe notabile.
- rezultatele încercării de micro-abraziune pe probe prelevate din piesele recondiționate prin cele trei procedee demonstrează că recondiționarea prin sudare FCAWm conferă o rezistență la uzare crescută față de recondiționarea cu procedeul SMAW; coeficientul la uzare a fost cu 18% mai mic iar volumul de material uzat a fost cu 9% mai mic la FCAWm decât la SMAW. (v. § 7.1)
- rezultatele calculelor relevă că timpul necesar aplicării tehnologiei de recondiționare prin sudare cu procedeul FCAWm este mai mic cu 52% decât timpul aferent procedurii SMAW rezultând o productivitate mai mare, iar din punctul de vedere al costului cu 54% mai mic (v. § 7.2)

La realizarea obiectivului principal al activității doctorale de cercetare-dezvoltare, prezenta teză de doctorat aduce o serie de contribuții, dintre care cele mai importante sunt după cum urmează:

1. Contribuțiile personale aduse prin cercetările realizate în domeniul teoretic au fost:
  - o sinteză originală a principalelor aspecte referitoare la siguranța feroviară cât și o sinteză originală cu privire la utilizarea fontelor ca materiale de bază pentru piesele din industria feroviară și a sudabilității acestora.
2. Contribuții personale în domeniul cercetărilor experimentale:
  - evaluarea tehnologiei existente de recondiționare prin sudare SMAW;
  - măsurarea deformațiilor geometrice prin scanare 3D și prelucrarea datelor în softul ARTCAM în vederea determinării oportunității utilizării unui dispozitiv de strângere și fixare;
  - estimarea tensiunilor dezvoltate în piesele sudate (având în vedere tensiunile remanente din proba recondiționată în asemenea condiții) prin metoda rozetei tensometrice găurite (metoda Mathar);
  - proiectarea și implementarea noilor tehnologii de sudare FCAW și FCAWm în condițiile păstrării menținerii valorii energiei liniare constante pentru cele două tehnologii;
  - evaluarea calității probelor realizate prin analize metalografice, de duritate și a compoziției chimice;
  - testarea la micro-abraziune a probelor prelevate din piesele recondiționate prin cele trei procedee de sudare pentru determinarea comportamentului la uzare.
  - realizarea analizei tehnico-economice din punctul de vedere al tehnologiei actuale și precedente în scopul implementării noii tehnologii.
  - elaborarea documentației de recondiționare prin intermediul noii tehnologii;

Rezultatele parțiale au fost redactate ca lucrări științifice și au fost prezentate după cum urmează:

- Articolul “Aspecte privind uzura în exploatare a elementelor suspendate fabricate din fontă, la vagoanele de călători, și posibilitatea recondiționării prin sudare” [32], prezentat la Conferința ASR „SUDURA 2018”, desfășurată la Timișoara.
- Articolul “Risk management of friction liner welding reconconditioning technology change “ [36], prezentat la Conferința Modtech 2020, publicat în IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng, indexat ISI, WOS 000625330000084.
- Articolul “The recovery through welding of the geometric shape on passenger railcars friction liner “ [34], publicat în Journal of Research and Innovation for Sustainable Society 2020, indexat BDI.
- Articolul “Research on welding reconconditioning of the friction liner from passenger cars“[33], publicat în Scientific Bulletin – PUB, 2021, indexat ELSEVIER.
- Articolul “Research on the development of the welding reconconditioning procedure for friction liner on the passenger coaches “ [35], prezentat la Conferința ADEM , 2021, indexat BDI.

\* \* \*

Prezenta teză de doctorat, prin problematică, modul de abordare și rezultate, dezvoltă îmbunătățirea tehnologiei existente de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare de la vagoanele de călători.

Importanța științifică a prezentei teze de doctorat este susținută de contribuțiile aduse la dezvoltarea tehnologiilor de recondiționare prin sudare aplicabile port-garniturilor de frecare utilizate la vagoanele de călători din domeniul feroviar, unde cerințele privind siguranța în exploatare sunt foarte stricte.

**Importanța practică a prezentei teze de doctorat rezidă în aceea că oferă o tehnologie și o procedură de recondiționare prin sudare a port-garniturilor de frecare ce vor conduce la timpi de reparație mai mici, costuri mai mici și o rezistență la uzare mai mare comparativ cu tehnologia existentă în acest moment.**

Analizele efectuate asupra pieselor recondiționate cu noua tehnologie de sudare FCAWm au dovedit calitatea superioară a acestora față de procedeul SMAW actual dar există în continuare direcții noi de cercetare ce prezintă interes precum:

- utilizarea de diferite materiale de adaos care să îmbunătățească proprietățile cordonului și piesei
- perfecționarea metodelor de analiză și control prin utilizarea de softuri performante de simulare a condițiilor de funcționare a PGF;
- efectuarea de noi teste, și în alte zone/poziții din piesele recondiționate, pentru identificarea tensiunilor remanente prin metoda rozetei tensometrice găurite (metoda Mathar).

## Bibliografie selectivă

### 1. Articole, cărți

- [12] Cicic, D.T., Iacobescu, G., *Informatizarea și optimizarea proceselor de sudare (Computerization and optimization of welding processes)*, Politehnica Press, ISBN 978-606-515-577-0, 2014.
- [27] Leitner, B., *A General Model for Railway Systems Risk Assessment with the Use of Railway Accident Scenarios Analysis*, Procedia Engineering Volume 187, 2017, Pages 150-159, 2017.
- [28] Machedon-Pisu, T., Machedon E., *Tehnologia Sudării prin topire-Procedee de sudare*, Editura CNCISIS, 2009.
- [32] Petrescu, Carmen., Solomon, Gh. *Aspecte privind uzura în exploatare a elementelor suspendate fabricate din fontă, la vagoanele de călători, și posibilitatea recondiționării prin sudare*, Conferința ASR „SUDURA 2018”, p 166, Timișoara, 26-27 Aprilie, 2018.
- [33] Petrescu, Carmen, Cicic, D.T., Rontescu C., Solomon, Gh., Vasile, I.M., *Research on welding reconditioning of the friction liner from passenger cars*, U.P.B. Sci. Bull., ISSN 1223-7027, 2021.
- [34] Petrescu, Carmen, Solomon Gh., Cicic D.T., Chivu O.R., Rontescu, C., *The recovery through welding of the geometric shape on passenger railcars friction liner* Journal of Research and Innovation for Sustainable Society (JRISS) Volume 2, Issue 1, ISSN: 2668-0416 Thoht Publishing House, 2020.
- [35] Petrescu, Carmen, Cicic, D.T., Solomon, Gh., *Research on the development of the welding reconditioning procedure for friction liner on the passenger coaches*, ADEM Conference, 2021.
- [36] Petrescu, Carmen, Cicic, D.T., Solomon, Gh., *Risk management of friction liner welding reconditioning technology change*, Petrescu, C., et al 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 916 012084, 2020.
- [45] Solomon, Gh., Cicic D.T., *Theory of welding processes, Theoretical and applicative notions, Welding metallurgy*, Bren Bucharest Publishing House, 2010.
- [47] Specificația tehnică nr. cod ST 3,1/1283/2004.
- [57] Voiculescu, I., Geantă, V., Ștefănoiu, R., Patroi, D., Binchiciu, H., *Influence of the Chemical Composition on the Microstructure and Microhardness of AlCrFeCoNi High Entropy Alloy*. Rev. Chim., Vol. 64, No. 12, p.1441-1444, 2013.

### 2. Legi

- [66] \*\*\* Instrucție pentru repararea frânelor de vagoane nr. 938
- [70] \*\*\* Ordinul nr. 1013/2006 privind aprobarea Normei tehnice feroviare vehicule de cale ferată. Recondiționarea prin sudare a subansamblurilor și pieselor componente ale vagoanelor.
- [78] \*\*\* Regulamentul de punere în aplicare (UE) nr. 402/2013 al Comisiei privind metoda de siguranță comună pentru evaluarea și aprecierea riscurilor stabilește o metodă de siguranță comună (MSC), revizuită pentru evaluarea și aprecierea riscurilor în cazul schimbărilor de ordin tehnic, operațional și/sau organizațional aduse unui sistem feroviar.

### 3. Standarde conexe domeniului de cercetare

- [83] \*\*\* EN 1563:2018 - Founding - Spheroidal graphite cast irons <https://www.en-standard.eu/csn-en-1563-founding-spheroidal-graphite-cast-irons/>.

### 4. Site-uri de specialitate

- \*\*\* MTIC, CFR S.A., *Strategia de dezvoltare a infrastructurii feroviare (2021-2025)*,  
[119] <http://www.cfr.ro/files/strategie/SDezIF/2020/strategie%20infra%20v4.2.pdf>.